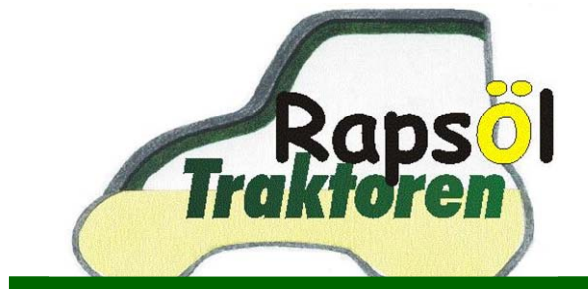


# **Rapsöl als Treibstoffalternative**

## **in der Landwirtschaft**

### **Anhang Band I**



Josef Rathbauer<sup>1</sup>, Kurt Krammer<sup>1</sup>, Tabea Kriechbaum<sup>2</sup>  
Heinrich Prankl<sup>1</sup>, Josef Breinesberger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> HBLFA Francisco Josephinum  
BLT - Biomass | Logistics | Technology  
Rottenhauserstraße 1, AT - 3250 Wieselburg

<sup>2</sup> AGRAR PLUS GmbH  
Bräuhausgasse 3, AT - 3100 St. Pölten

Endbericht  
September 2008



Der Nachdruck, die Entnahme von Abbildungen, die photomechanische oder xerographische Vervielfältigung und auch die auszugsweise Wiedergabe sind nur unter Quellenangabe gestattet.

Titel: Rapsöl als Treibstoffalternative für die Landwirtschaft  
BMLFUW-LE.1.3.2/0037-II/1/2006

Forschungsprojekt Nr. 1337

Zeitraum Oktober 2003 bis September 2006  
Projektverlängerung bis September 2008

## Beteiligte Institutionen

<p><i>Projektmanagement / Förderungsabwicklung:</i></p> 	<p>AGRAR PLUS GesmbH Bräuhausgasse 3, AT - 3100 St. Pölten Tel.: +43 (0)2742 352234 - 0 Fax: +43 (0)2742 352234 - 4 Mail: <a href="mailto:office@agrarplus.at">office@agrarplus.at</a> Web: <a href="http://www.agrarplus.at">www.agrarplus.at</a>, <a href="http://www.pflanzenoel.agrarplus.at">www.pflanzenoel.agrarplus.at</a></p>	
<p><i>Wissenschaftliche Bearbeitung und Verantwortung:</i></p> 	<p>HBLFA Francisco Josephinum BLT - Biomass   Logistics   Technology Rottenhauserstraße 1, AT - 3250 Wieselburg Tel.: +43 (0)7416 52175 – 0 Fax: +43 (0)7416 52175 - 45 Web: <a href="http://blt.josephinum.at">http://blt.josephinum.at</a> Email: <a href="mailto:josef.rathbauer@josephinum.at">josef.rathbauer@josephinum.at</a></p>	
<p><i>Motoröllogistik und –analytik:</i></p> 	<p>Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH Friesenheimer Straße 17, D-68169 Mannheim Tel.: +49 0)621 3701-0 <a href="http://www.fuchs-europe.de">www.fuchs-europe.de</a></p>	
<p><i>Regionalpartner:</i></p>	<p>NÖ</p>	<p>Waldland VWP A- 3533 Oberwaltenreith 10 <a href="mailto:info@pflanzenoel-motor.at">info@pflanzenoel-motor.at</a></p>
	<p>OÖ</p>	<p>Innöl CoKG (Maschinenring Braunau u. Umgebung) Hofmark 5, AT-4962 Mining</p>
	<p>Bgld.</p>	<p>Landwirtschaftskammer Landw. Bildungsstätte Oberwart Prinz Eugen Straße 7, AT-7400 Oberwart</p>

### Dieses Projekt wurde unterstützt von:

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft
- Niederösterreichische Landesregierung
- Oberösterreichische Landesregierung
- Burgenländische Landesregierung



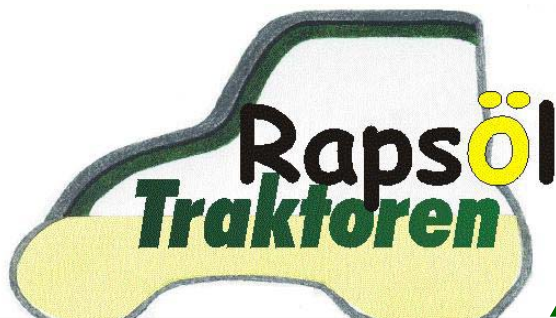
## Inhaltsverzeichnis Anhang Band I

01-OÖ .....	191
02-OÖ .....	221
03-OÖ .....	247
04-OÖ .....	269
05-OÖ .....	291
06-OÖ .....	315
07-OÖ .....	337
08-OÖ .....	355
09-Bgld.....	377
10-OÖ .....	389
11-NÖ .....	413
12-OÖ .....	439
13-NÖ .....	465
Abbildungsverzeichnis .....	492
Tabellenverzeichnis.....	498



01-OÖ

01-OÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>New Holland TM 190</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>August 2003</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.992 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	New Holland TM 190
<b>Motortype</b>	675TAFA
<b>Erstmalige Zulassung</b>	28. 02. 2003
<b>Motorhersteller</b>	CNH
<b>Motor Nr.</b>	FA055334
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	20 Liter mit Filter
<b>Nennleistung</b>	142 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2200 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	7480 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	111,8 x 127 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	17,5:1
<b>Einspritzpumpe</b>	BOSCH Verteilerpumpe (VP30)
<b>Einspritzdruck</b>	270 - 278 bar
<b>Kraftstofftank</b>	398 Liter gesamt
<b>Eigengewicht</b>	7980 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	September 2003
<b>bei TMh</b>	475
<b>Enduntersuchung</b>	Jänner 2007
<b>bei TMh</b>	2.467

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Martin Graml

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Vollastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen jeweils die Werte von Diesel und Rapsöl der Anfangsuntersuchung welche jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt werden. Der ersichtliche Leistungsverlust von etwa 13 kW bei Rapsöl sowie 10 kW bei Dieseldieselkraftstoff ist auf einen Tausch der Einspritzpumpe zurückzuführen. Die Leistung liegt sowohl zu Beginn als auch zu Ende bei Rapsöl in etwa gleich mit der von Dieseldieselkraftstoff. Analog zur Leistung verhält sich der Kraftstoffverbrauch - der geringere Verbrauch ist auf die geringere Leistung zurückzuführen.

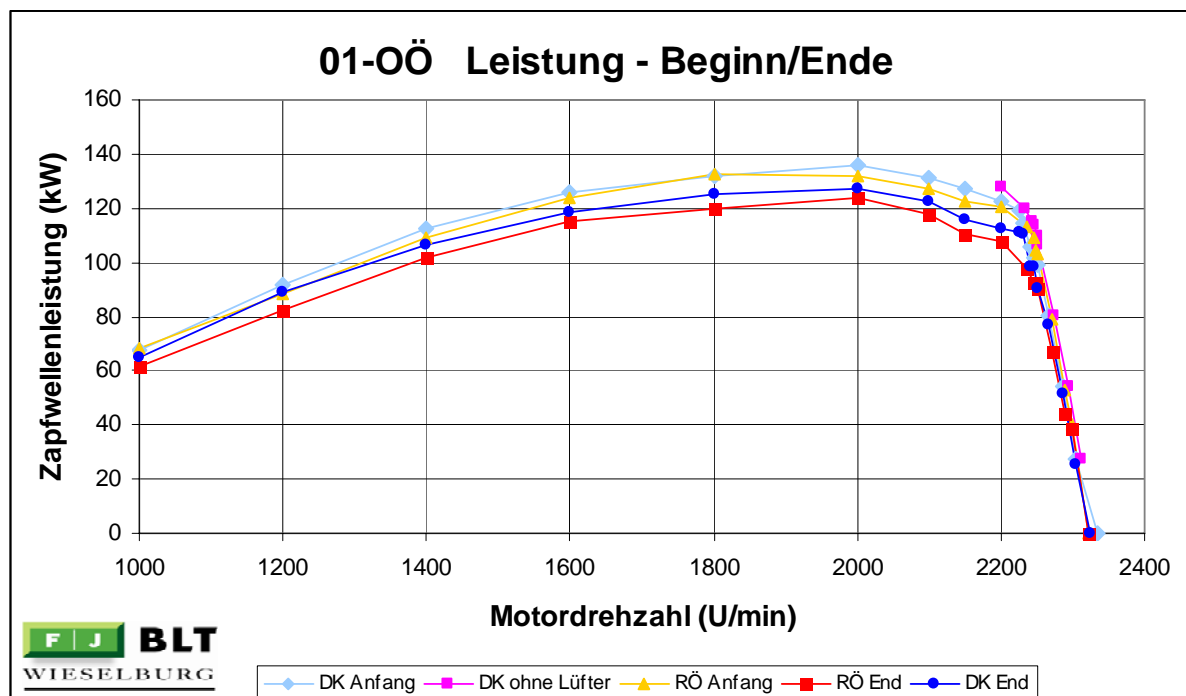


Abbildung 1: 01-OÖ Zapfwellenleistung Dieseldieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

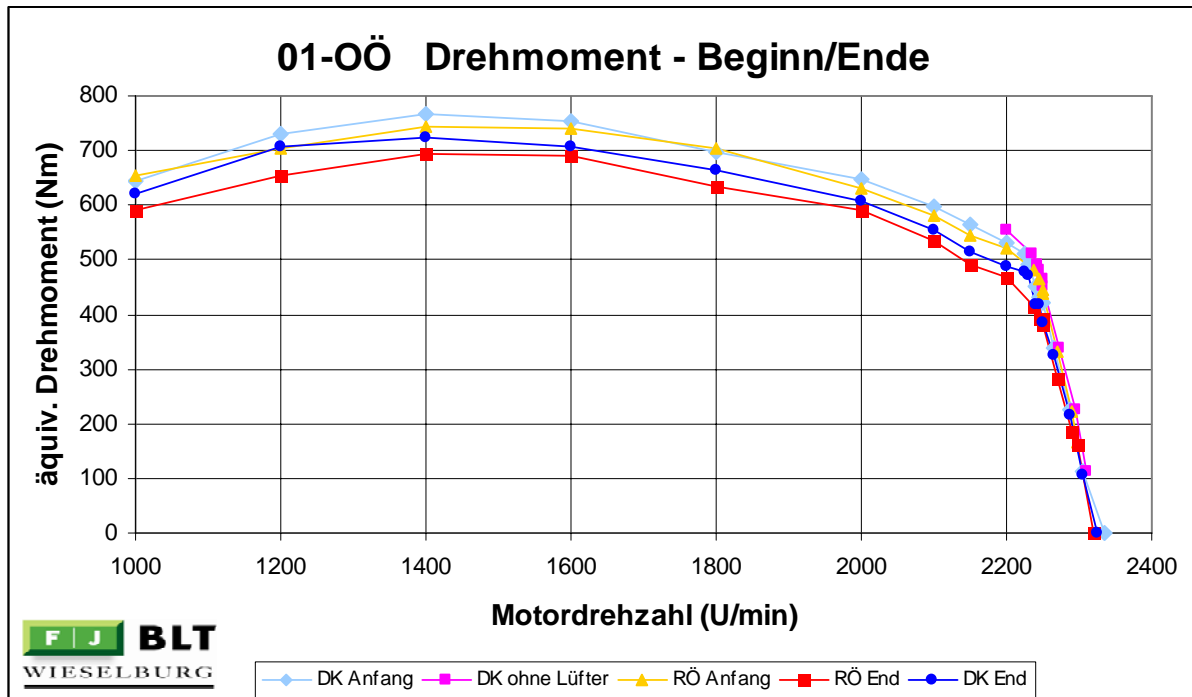


Abbildung 2: 01-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

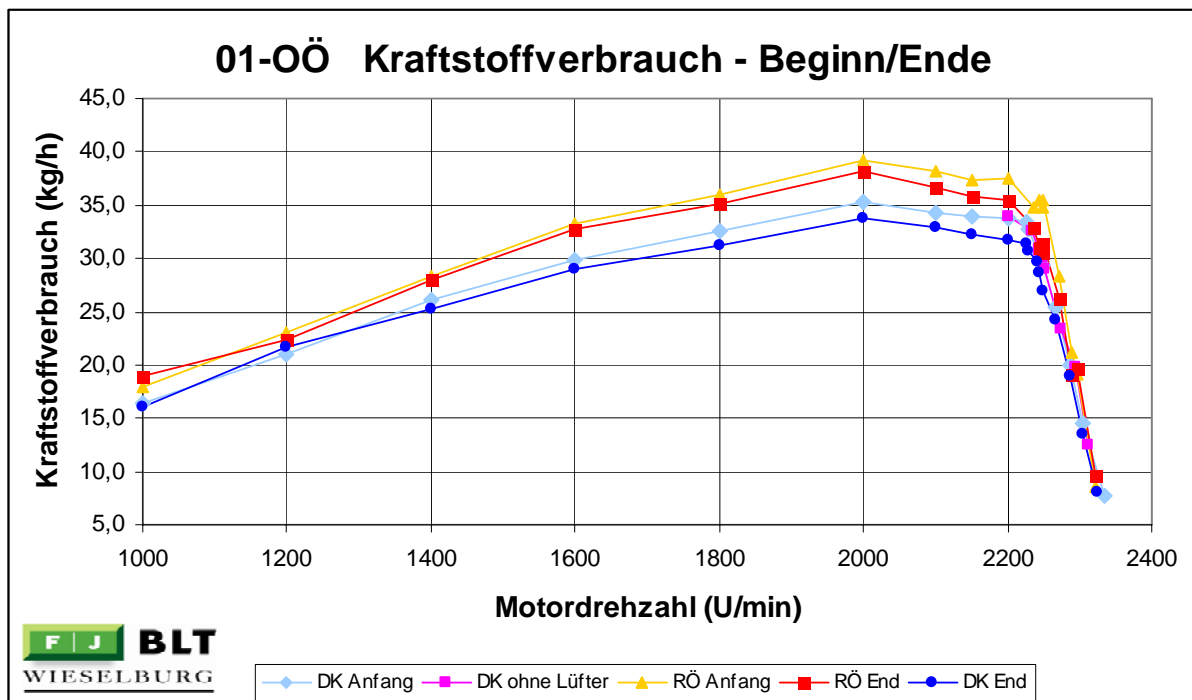


Abbildung 3: 01-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende



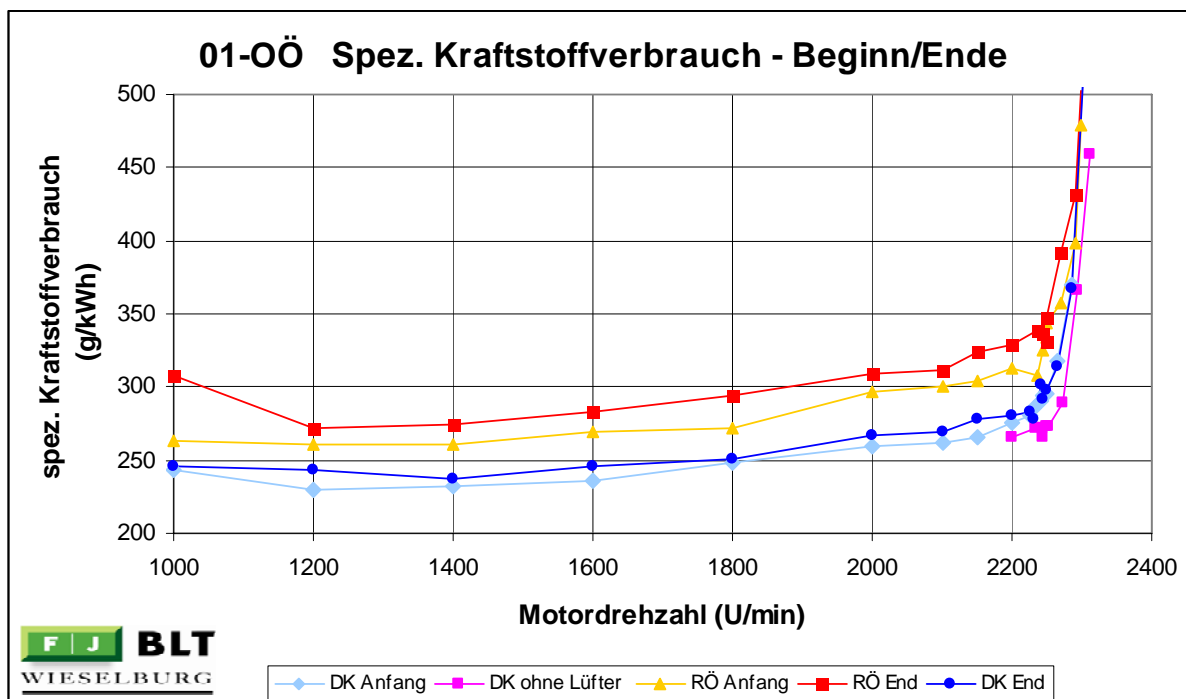


Abbildung 4: 01-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessungen bei Versuchsbeginn und -ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt eine Aufstellung der Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment, wobei bei der Enduntersuchung ein geringfügiger Anstieg ersichtlich ist.

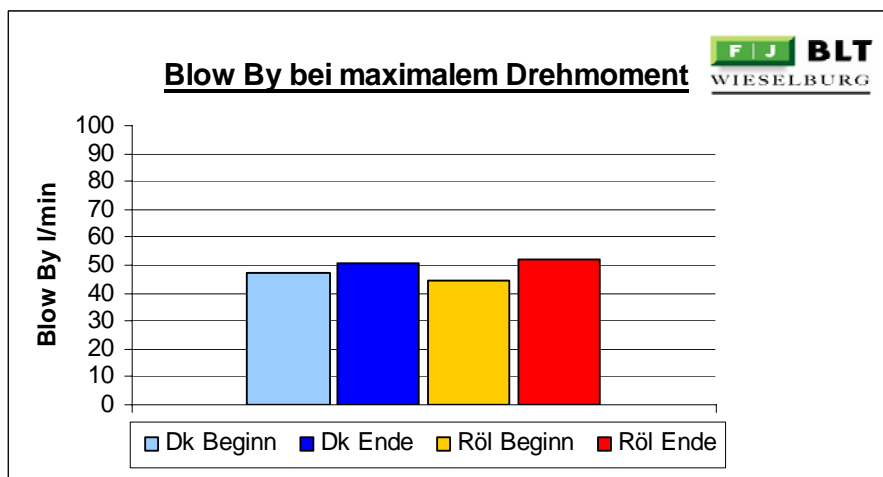


Abbildung 5: 01-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment



## Emissionsmessung

Bei den gesetzlich limitierten Schadstoffen der gasförmigen Emissionen ist bei Betrieb mit Rapsöl bei der Anfangsuntersuchung sowohl bei CO, HC und NO<sub>x</sub> nur ein geringfügiger Unterschied gegenüber Dieselkraftstoff erkennbar. Die Messungen bei Versuchsende zeigten generell einen Anstieg bei beiden Kraftstoffen.

**Tabelle 1: 01-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn / Ende**

	Anfang RÖ	Ende RÖ	Anfang DK	Ende DK
[g/kWh]	30.06.2004	12.12.2006	30.06.2004	12.12.2006
CO	0,75	0,92	0,74	0,90
HC	0,04	0,11	0,03	0,21
NO <sub>x</sub>	8,65	9,12	7,50	8,80

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Universal HD SAE 15W - 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 300 Betriebsstunden, diese Werte können laut Empfehlung des Umrüsters beibehalten werden.

Während der Projektlaufzeit wurden sieben Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 240 TMh untersucht. Von 39 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskosität bei 40°C und bei 100°C Celsius gemessen und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiteres wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt.

Den Wechselintervallen entsprechend hätten 53 Motorölproben gezogen werden sollen, davon wurden 26% vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

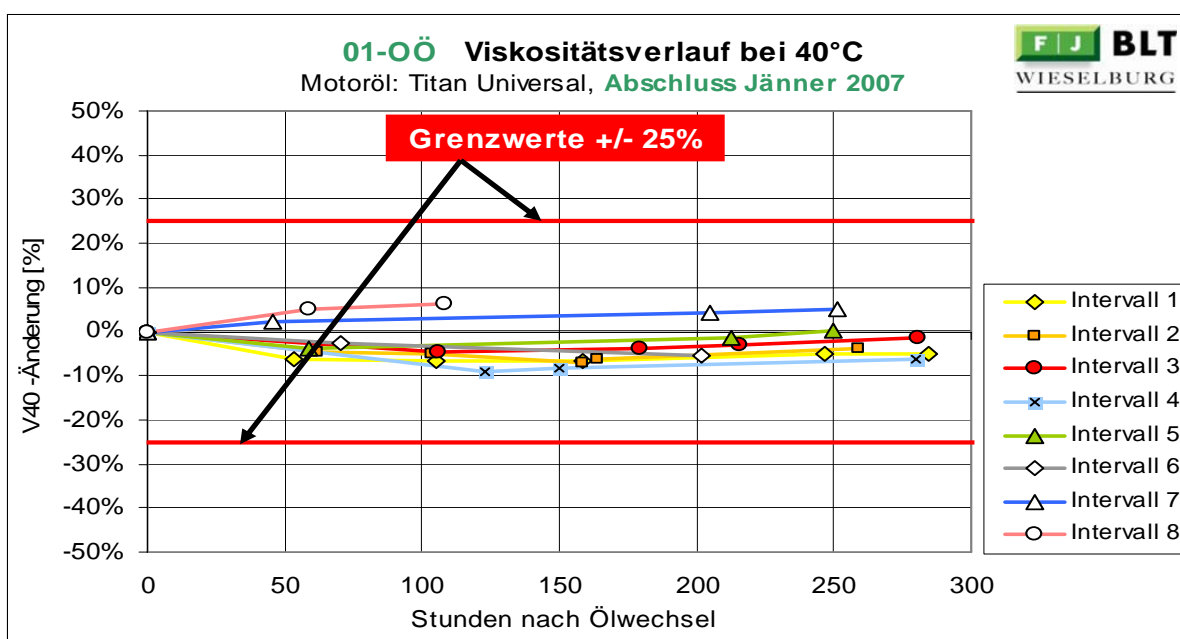


Abbildung 6: 01-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Betrachtet man den Viskositätsverlauf bei 40°C, lässt sich eine durchgängig gleichmäßige Trendlinie ohne auffällige Ab- bzw. Anstiege der Viskosität feststellen. Die größte Schwankung innerhalb eines Ölwechselintervalls liegt bei einem 6%-igen Anstieg bzw. einem Abfall von 9% des Altöles im Vergleich zur 5-min-Probe. Auch die Viskosität bei 100°C zeichnet sich durch einen sehr konstanten Verlauf aus. Die größte Abweichung liegt bei -7% des Altöles im Vergleich zur Ausgangsprobe bei zwei Proben. Die übrigen Viskositätsergebnisse liegen allesamt in einem Schwankungsbereich von unter 5% Änderung.

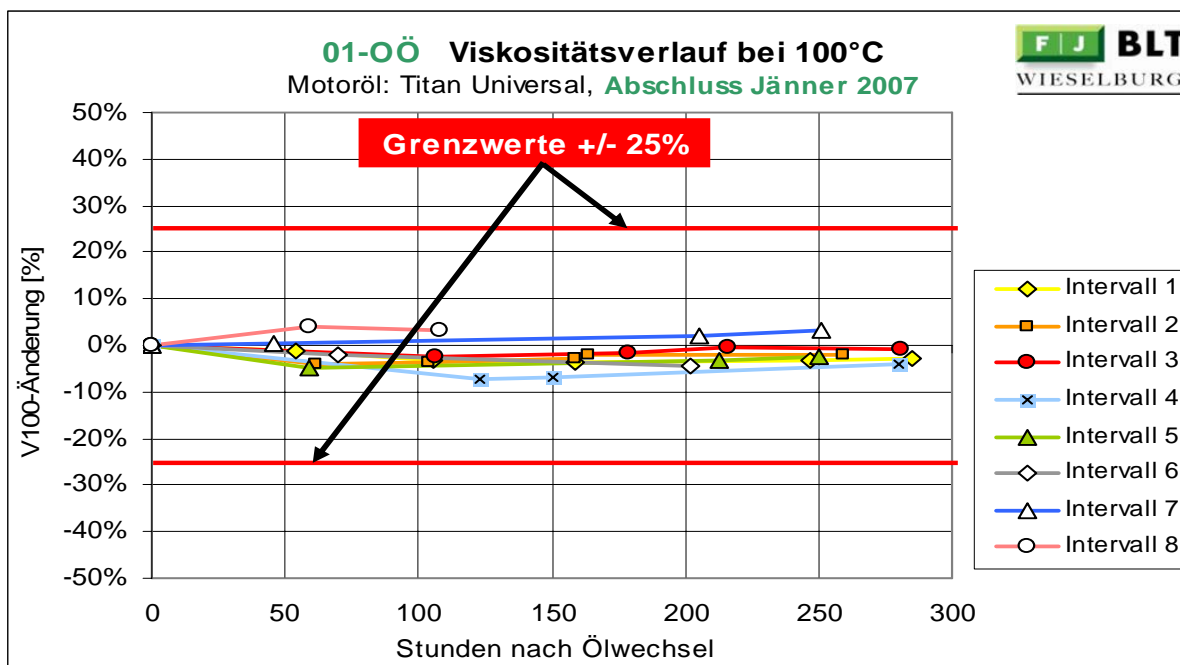


Abbildung 7: 01-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

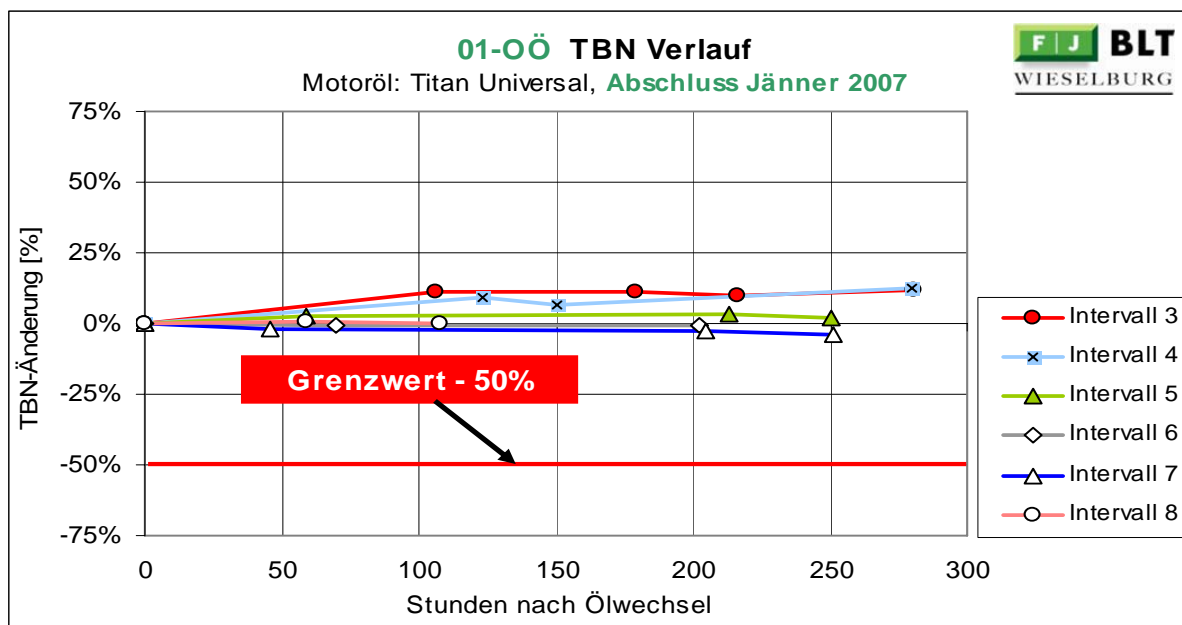


Abbildung 8: 01-OÖ Änderung der Total Base Number

Die maximalen Änderungen der Total Base Number konnten in den Intervallen 3 und 4 mit jeweils einer 12%-igen Zunahme der TBN bei der Altölprobe im Vergleich zu Ausgangsprobe festgestellt werden. Ansonsten gab es nur sehr geringfügige Änderungen.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 12 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich des Russ- und Rapsölgehaltes, sowie auf den Anteil diverser Verschleißmetalle untersucht wurden.

Es wurden keine auffälligen Schwankungen oder Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Der Rapsöleintrag lag im Durchschnitt bei 1,17%, der Russgehalt bei 0,42%. Diese Werte liegen deutlich unter den von der Firma Fuchs vorgegebenen Richtwerten von maximal 15% Rapsöleintrag bzw. 3% Russgehalt. Auch die Verschleißgeschwindigkeit bei den Elementen Blei, Eisen, Aluminium, Kupfer und Chrom lag deutlich unter dem vorgegebenen Grenzwert von 0,5 mg/Bh.

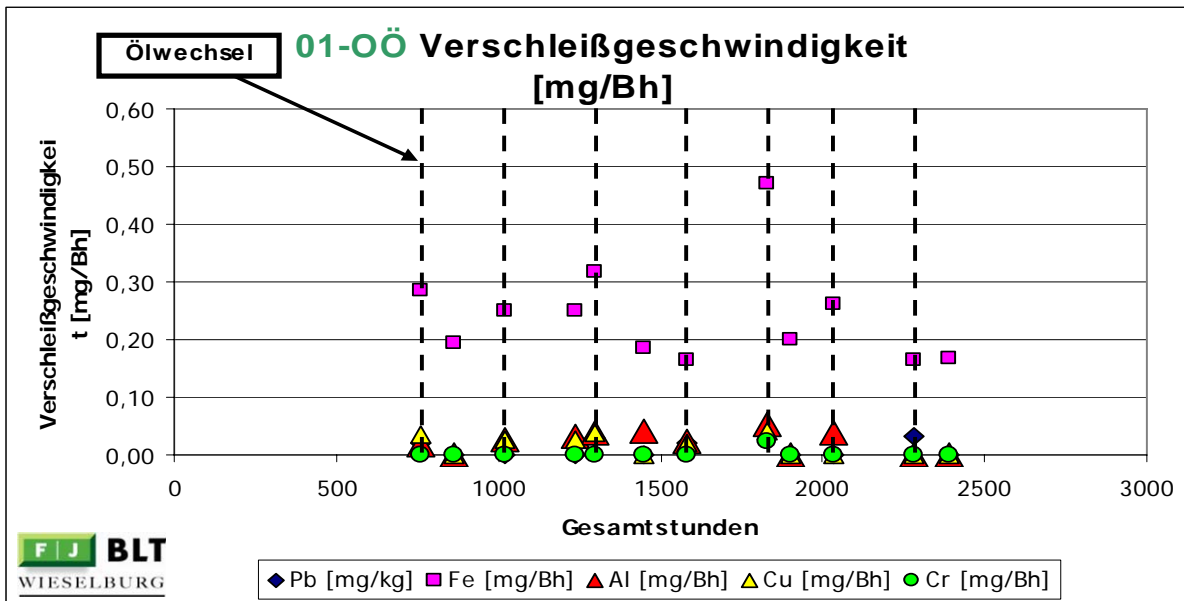


Abbildung 9: 01-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

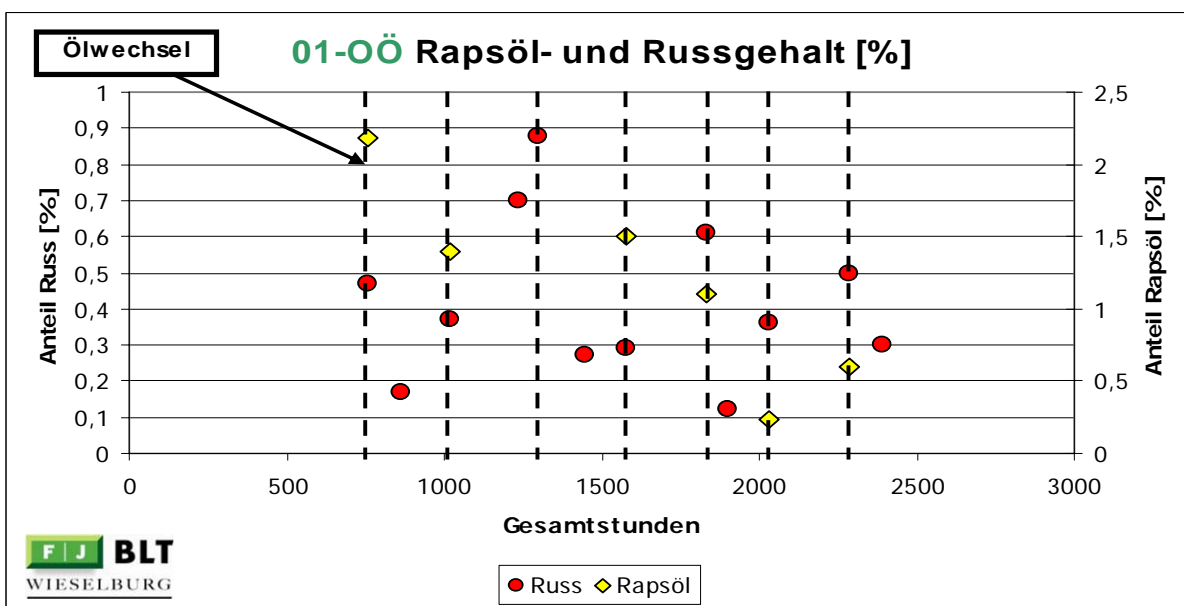


Abbildung 10: 01-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben



### **Kommentar Fa. Fuchs**

Hinsichtlich der Verschleißelemente wird von den untersuchten Proben der Grenzwert der Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh unterschritten. Dennoch wird bei einigen Proben die maximal festgelegte Elementkonzentration überschritten – Eisen wurde auf maximal 100 mg/kg, Blei, Aluminium, Kupfer und Chrom auf maximal 10 mg/kg festgesetzt. Traten Überschreitungen auf, so lagen diese in einem Fall gegen Ende des empfohlenen Ölwechselintervalls, in den anderen Fällen deutlich oberhalb von 200 Bh. Der Trendverlauf der Verschleißelemente zeigt sich mit Ausnahme des Eisens nicht einheitlich. Viskositäten, TBN und Additivelemente sowie der Russ- und Kraftstoffeintrag verhalten sich dagegen unkritisch.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden acht Kraftstoffproben aus dem Lagertank, neun Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse der Lagertank- und Traktortankproben dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Grenzwertüberschreitungen bei den Proben aus dem Lagertank gab es unter anderen bei der Gesamtverschmutzung (GV). Der in der Kraftstoffverordnung vorgegebene Grenzwert bei der GV von 25 mg/kg konnte in den ersten Jahren des Projektes nicht eingehalten werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Ölmühle erst mit Projektbeginn zu produzieren begann und die geforderte Kraftstoffqualität nicht von Anfang an erreicht werden konnte. Seit 2006 gab es bei den gezogenen Proben keine Überschreitung der GV mehr.

Tabelle 2: 01-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
23.03.2004			5,05				0,071
14.11.2004	919	34,14	110,00	1,35		6,82	0,075
30.05.2005	919	34,14	6,20	2,26	2,65	6,96	0,083
15.09.2005	916	34,81	60,73	1,20	3,82	8,32	0,073
12.12.2005	917	35,07	27,35	0,82	6,40	4,99	0,064
23.03.2006	914	33,45	18,50	2,07	6,37	5,16	0,062
19.05.2006	917	33,56	18,85	1,77	6,57	6,51	0,079
24.08.2006	919	34,21	4,20	1,08	2,37	2,08	0,060
12.10.2007	919	36,20	15,66	0,74	7,99	3,48	0,067

Die ebenfalls rot markierten Werte hinsichtlich der Oxidationsstabilität müssen relativiert werden, da sie für die Proben aus dem Lagertank nur als Richtwert gelten. Dieser Parameter muss bei der Qualität des Öles ab Ölmühle eingehalten werden.



Auffallend hohe Werte sind beim Wassergehalt festzustellen. Der Grenzwert von 0,075 Masse-% wurde dreimal überschritten, aber auch die restlichen Analyseergebnisse sind nahe dem Grenzwert. Diese durchgängig hohen Wassergehalte könnten ein Indiz für eine nicht vorteilhafte Lagerung des Öles sein. Bessere Isolierung des Tankes bzw. eine Umlagerung in einen trockenen, von Außenverhältnissen so gut wie unabhängigen, Lagerraum wären hierbei vorteilhaft.

Weniger bedenklich sind die Überschreitungen der Neutralisationszahl (NZ), hier ist ein Grenzwert von 2 mg KOH/g vorgeschrieben. Im Gegensatz zum Wassergehalt kann man jedoch erkennen, dass es sich um Ausreißer handelt und die NZ im Übrigen eingehalten werden konnte. Keine Überschreitungen gab es beim Phosphorgehalt – der Grenzwert von 15 mg/kg konnte immer eingehalten werden. Auch die Dichte- und Viskositätswerte waren innerhalb bzw. unterhalb der vorgeschriebenen Grenzen.

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Bei den Kraftstoffproben aus dem Traktortank gab es hauptsächlich Überschreitungen bei der Gesamtverschmutzung. Die Verbesserung der Werte im Vergleich zu den Lagertankproben lässt sich auf den beigemischten Dieselmotorkraftstoff zurückführen. Auch der im Mittel rückgängige Wassergehalt ist auf die Beimischung von Dieselmotorkraftstoff zurückzuführen.

Tabelle 3: 01-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
24.03.2004			4,10				
12.05.2004		35,04	31,48		9,90		
24.02.2005	908	28,41	24,45	0,80	4,09	0,056	8
30.05.2005	917	32,94	10,17	2,19	7,26	0,081	2
15.09.2005	900	23,06	41,13	1,13	8,11	0,057	16
12.12.2005	933	22,07	17,52	0,71	4,39	0,050	18
23.03.2006	901	22,20	28,25	0,73	3,91	0,047	18
19.05.2006	907	25,05	20,50	1,55	5,88	0,075	13
24.08.2006	898	19,73	5,65	0,97	0,61	0,050	22

Nach dem Gesamtbild beim Wassergehalt beurteilt, handelt es sich bei den beiden Überschreitungen um Ausnahmen, der generelle Trend ist durchaus im akzeptablen Bereich.



Bei der Neutralisationszahl konnte, bis auf eine Überschreitung, der geforderte Grenzwert von 2 mg KOH/g eingehalten werden.

Die Unterschreitung des Toleranzbereiches der Dichte ist auf einen höheren Anteil an Dieseldieselkraftstoff zurückzuführen, welcher durch Spülvorgänge und als Lecköl bei Dieseldieselbetrieb systembedingt in den Rapsöltank gelangt.

Die Viskosität und der Phosphorgehalt lagen im Normalbereich.

## 4. Auswertungen Datenlogger

Während der Gesamtbetriebsdauer von 1.992 Stunden mit Rapsöl wurden 1.180 Betriebsstunden mit einem Datenlogger mitgemessen um zusätzliche Aufzeichnungen über die Auslastung bzw. die Art der Tätigkeiten zu erhalten. Über acht Kanäle wurden die Zündspannung, die Drehzahl, sowie die Temperaturen von Ansaugluft, Motoröl, Kühlflüssigkeit, Kraftstofffilter, Kraftstofftank, sowie die Abgastemperatur in 2-Minuten-Intervallen gemessen.

Hierbei wurden das Laufzeit- und das Startverhalten der einzelnen Traktoren, sowie die Temperaturverläufe der jeweiligen Kanäle aufgezeichnet und ausgewertet. Die einzelnen Starts wurden in neun verschiedene Kategorien von „1-10 Minuten“ bis „>180 Minuten“ Laufzeit aufgeteilt. Nachfolgende Abbildungen zeigen die entsprechenden Ergebnisse.

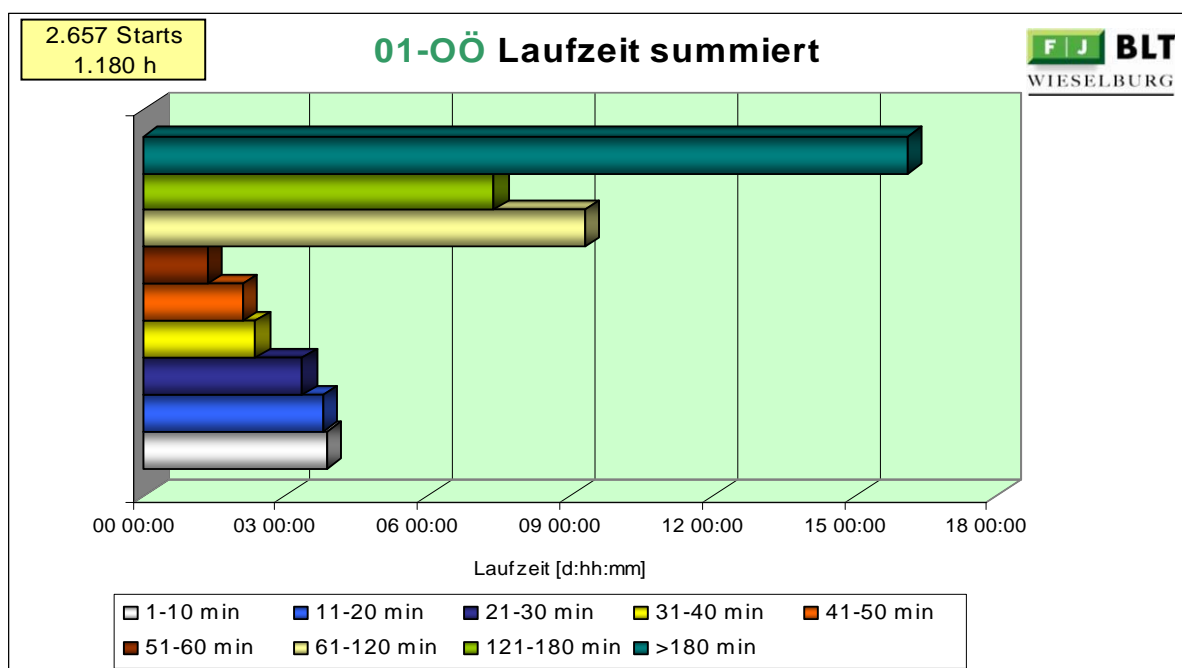
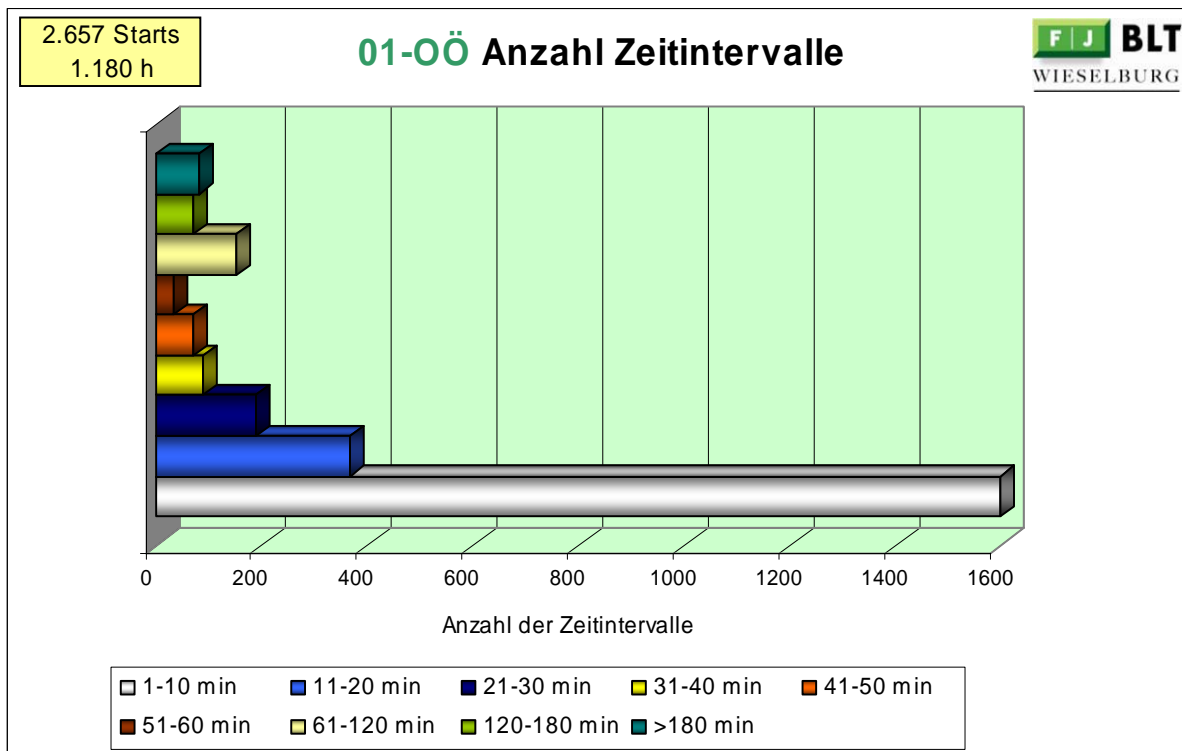


Abbildung 11: 01-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit



**Abbildung 12: 01-OÖ Anzahl der Starts in den jeweiligen Zeitintervallen (Laufzeiten)**

Die tatsächliche Messzeit entspricht nicht zwangsläufig der Gesamtlaufzeit des Traktors, da die Messaufzeichnungen nicht lückenlos geführt werden konnten. Insgesamt wurden bei diesem Traktor 1.180 Betriebsstunden über den Logger mit aufgezeichnet.

Betrachtet man die Abbildung über die Laufzeit kann mit einem Blick festgehalten werden, dass der Traktor die meiste Gesamtzeit im Intervall „>180 Minuten“ betrieben wurde. Diese Aussage wird jedoch relativiert, wenn man dieselben Zeitintervalle auf die Anzahl der Starts aufträgt. Hierbei ist deutlich zu sehen, dass der Traktor mit Abstand am öftesten im Intervall zwischen einer und zehn Minuten gestartet wurde. Anzahlmäßig ausgedrückt wurde der Traktor während der gesamten Laufzeit der Datenloggermessungen zu über 60% für Kurzzeitbetriebe im Intervall von einer Minute bis zehn Minuten gestartet.

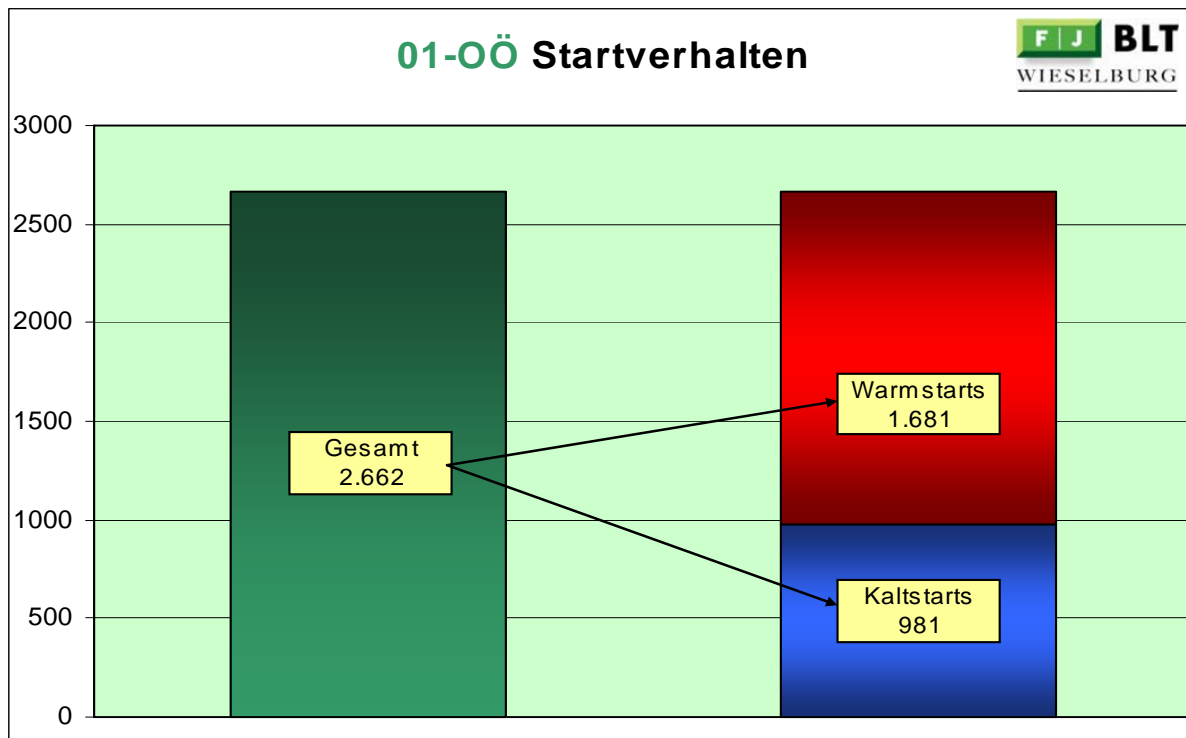


Abbildung 13: 01-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts

Um Aussagen über das Startverhalten zu erhalten wurden jeweils Starts mit einer Temperatur der Kühlflüssigkeit oder des Motoröles von <math><50^{\circ}\text{C}</math> als Kaltstart klassifiziert. In diesem Fall sind von 2.662 aufgezeichneten Starts rund 36% Kaltstarts. Damit liegt der Traktor knapp über dem Durchschnitt aller ausgewerteten Daten.

Nachfolgend sind Häufigkeitsverteilungen der Kanäle Motoröl-, Kühlflüssigkeit-, Kraftstofffilter- sowie Kraftstofftanktemperatur dargestellt. Basis dieser Daten sind alle jene Werte bei denen der Traktor in Betrieb war. Das sind in diesem Fall jeweils über 34.000 Messwerte.

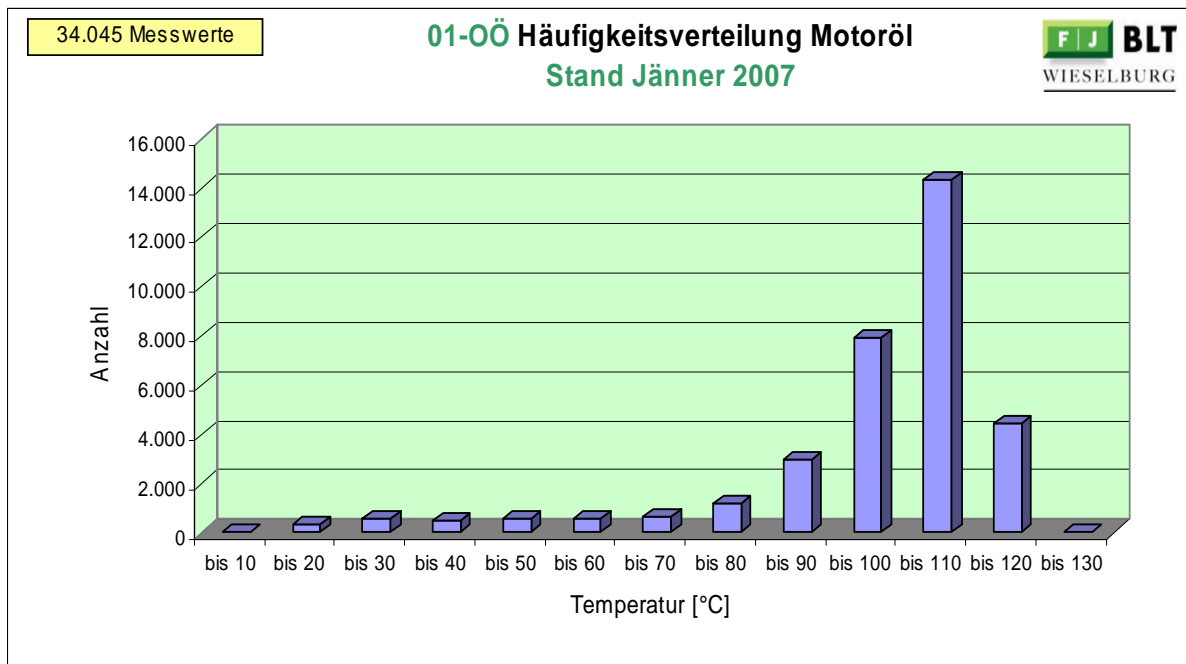


Abbildung 14: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur

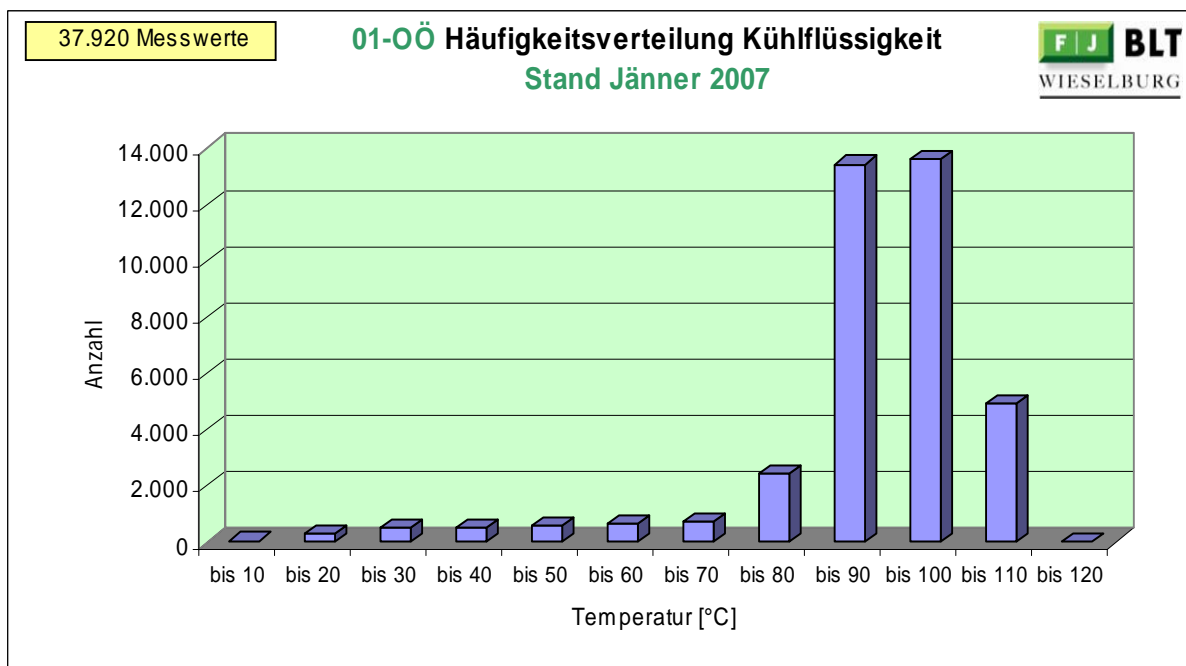


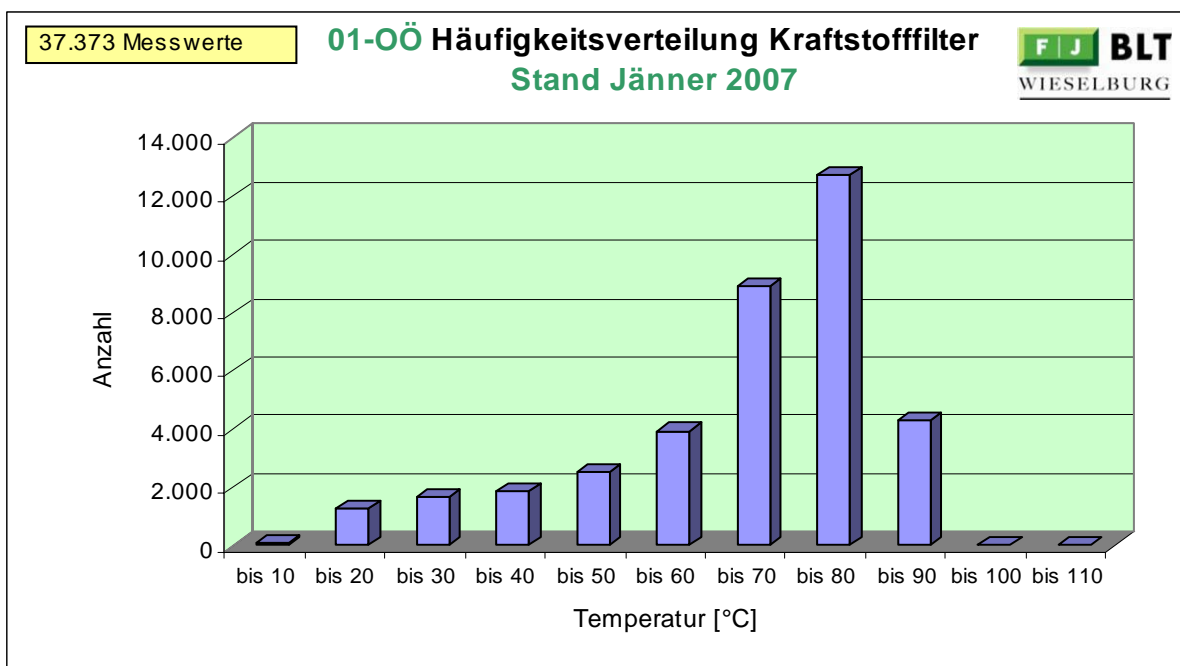
Abbildung 15: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur

Aus diesen Abbildungen lässt sich zusammenfassen, dass es sich um relativ homogene Verteilungen handelt. So ist beim Motoröl die größte Anhäufung bei einer Temperatur von 100 bis 110°C gegeben, bezüglich der Kühlflüssigkeit pendelt sich der Schwerpunkt zwischen 80 und 100°C ein. Die Charakteristik der Häufigkeitsverteilung



der Temperatur der Kühlflüssigkeit ergibt sich durch das Öffnen des Thermostates bei der vorgegebenen Temperatur.

Etwas weiter gestreut zeigen sich die Daten bei Kraftstofffilter- und Kraftstofftanktemperatur. Die Maxima von Messwerten liegen beim Kraftstofffilter bei einem Temperaturniveau zwischen 60 und 80°C, beim Kraftstofftank zwischen 20 und 40°C. Die höchste gemessene Kraftstofftanktemperatur betrug 58°C.



**Abbildung 16: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur**

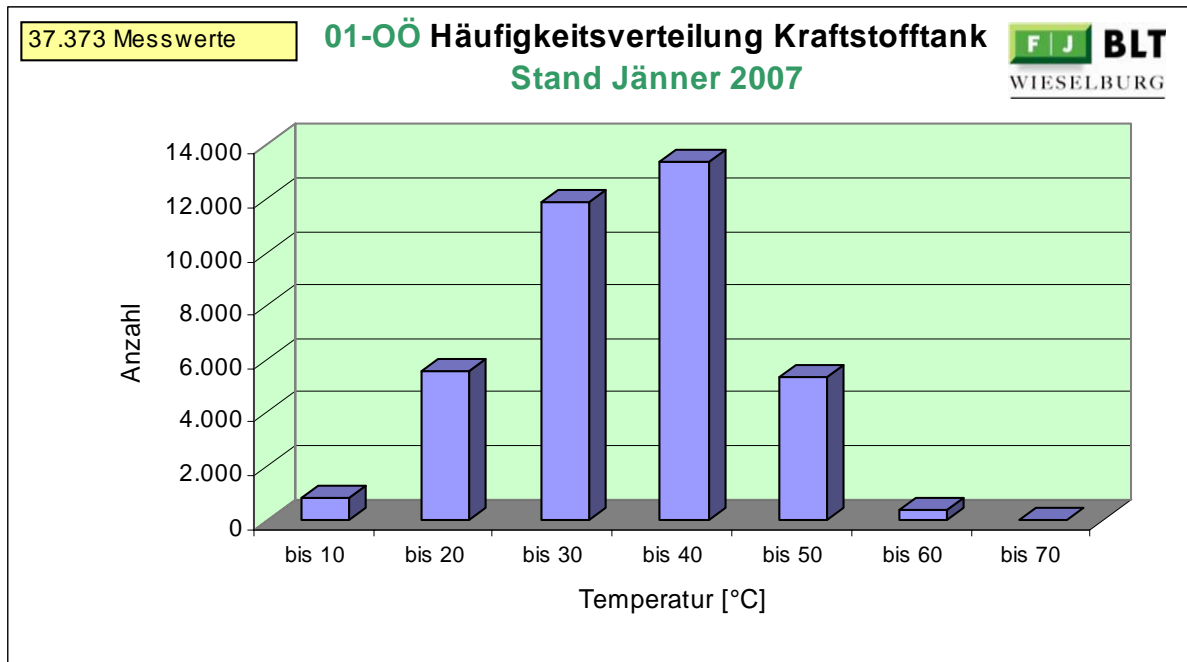


Abbildung 17: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofftanktemperatur





## 5. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Dieser Traktor wurde laut den Eintragungen des Traktortagebuches über einen Zeitraum von drei Jahren mit Rapsöl betrieben. Die angeführten Formulare dokumentieren 1.900 Betriebsstunden.

Die Tankaufzeichnungen zeigen einen durchschnittlichen Verbrauch von 16 Litern/Bh. Der Dieselanteil liegt bei diesem Traktor mit einer 2-Tank-Umrüstung bei 15% während der Projektlaufzeit. Der Einsatzbereich liegt zum überwiegenden Teil im hohen Lastbereich.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers, welcher seinen Traktor kennt. Deshalb ermöglichen diese Aufzeichnungen eine Beurteilung des Fahrbetriebes und stellen neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis dar.

Nachfolgend sind die Auswertungen der einzelnen Parameter dargestellt.



**Traktortagebuch**

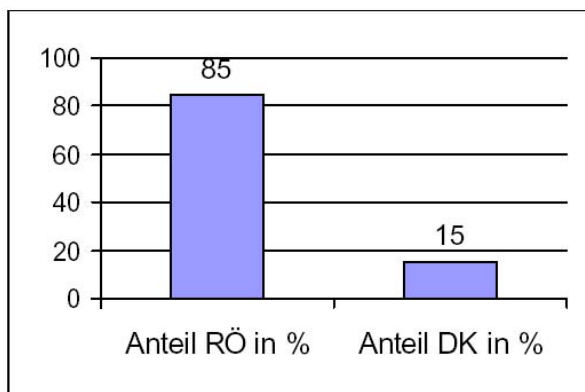
Fahrzeug: 01 New Holland TM 190



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 08. Sep. 03 bei TMh: 478,8  
 Letzter Eintrag 23. Okt. 06 bei TMh: 2384,0 TMh lt. Traktortagebuch **1905,2**

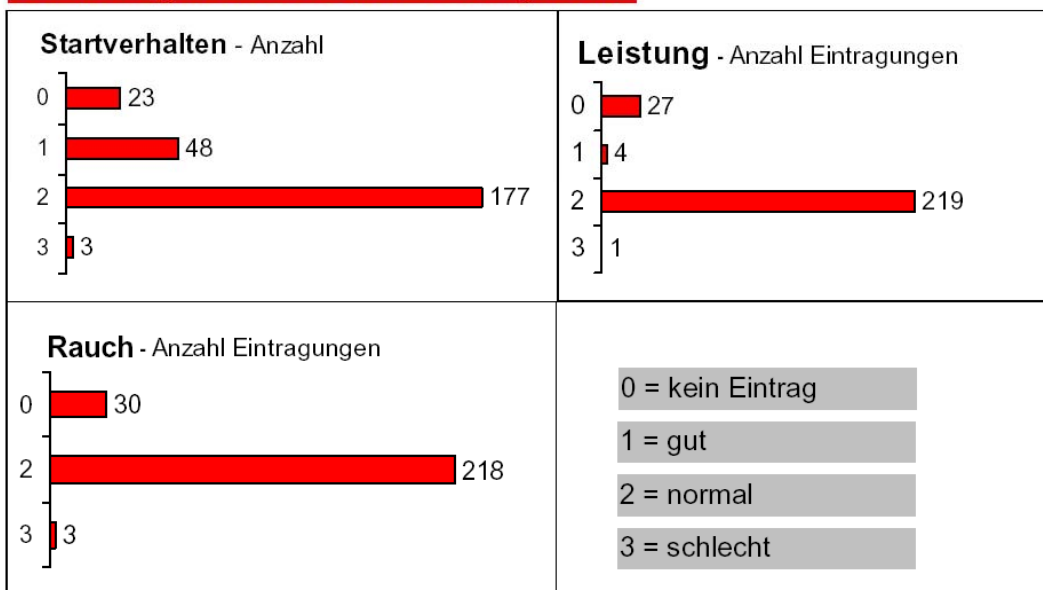
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 251



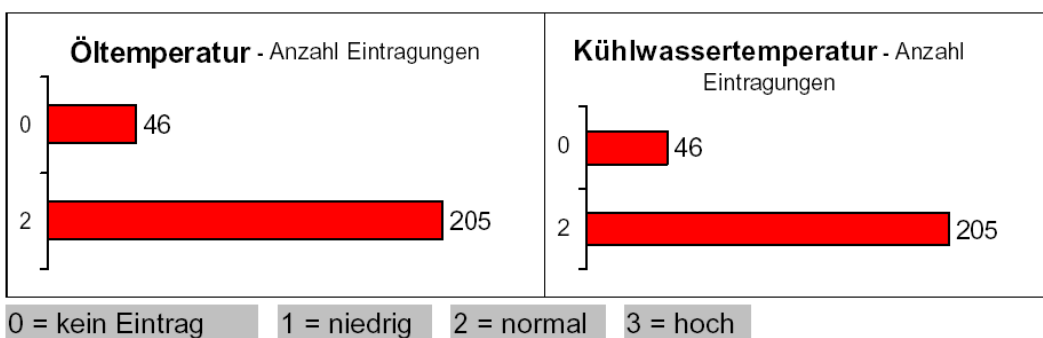
Tankmengen:

Diesel in l: 4602  
 Rapsöl in l: 25837  
 durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**15,98**

Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



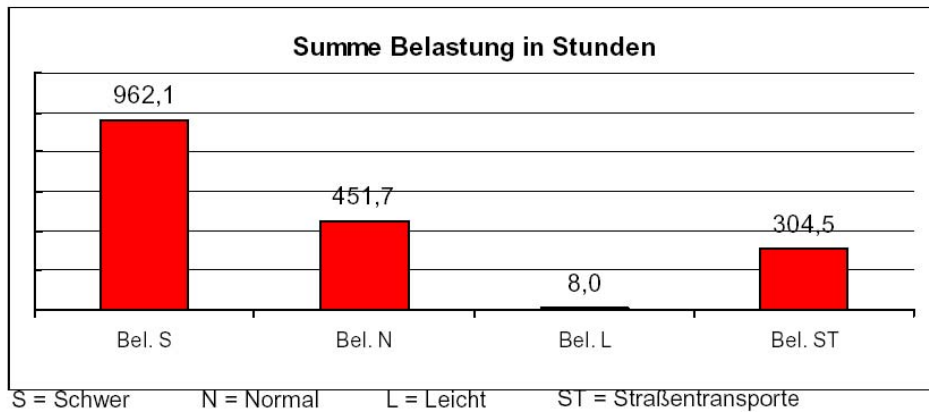


Traktortagebuch

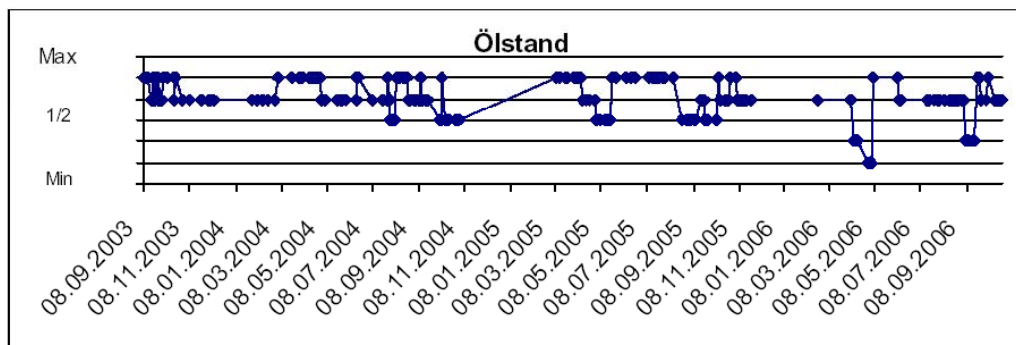
Fahrzeug: 01 New Holland TM 190



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 6. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Düsenöffnungsdruck und das Spritzbild der Düsen gemessen bzw. überprüft. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuerstegbereich, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression zeigt bei Versuchsende einen etwas geringeren Druck. Generell steigt bei einem Traktormotor die Kompression nach der Einlaufphase etwas an und nimmt danach bedingt durch den Verschleiß wieder ab. Deshalb erscheint der durchschnittliche Abfall der Kompression um 2 bar nicht ungewöhnlich. Der Düsenöffnungsdruck war bei Versuchsende ebenfalls etwas geringer. Das Spritzbild war bei allen Düsen in Ordnung.

**Tabelle 4: 01-OÖ Zylinder- & Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Öffnungsdruck Düsen [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	32	30	260	250	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	34	32	265	260	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	32	30	265	255	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	33	30	260	260	i.O.	i.O.	Düse 4
Zylinder 5	30	29	260	255	i.O.	i.O.	Düse 5
Zylinder 6	34	32	260	260	i.O.	i.O.	Düse 6

i.O.....in Ordnung

Bei den Einspritzdüsen wurden zusätzlich Schaft, Spitze und Löcher untersucht. Bei der Enduntersuchung wies der Schaft bei allen Düsen einen dünnen, russartigen, schwarzen Belag fester Konsistenz auf. Die Spitzen waren bei den Düsen 1 und 5 kaum belegt. Etwas stärkere Beläge konnten bei den Düsen 2 und 3 festgestellt

werden. Bei den Düsen 4 und 6 konnte man jeweils einen Belegaufbau an der Spitze rund um die Düsenlöcher beobachten. Die Löcher waren bei allen sechs Düsen frei.



Abbildung 18: 01-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Insgesamt zeigt der demontierte Motor ein gutes Erscheinungsbild.

Der Zylinderkopf war generell sehr sauber. Bei allen sechs Zylindern war der Kopfbereich feucht und geschwärzt, aber ohne Anlagerungen.



Abbildung 19: 01-OÖ Zylinderkopf



Abbildung 20: 01-OÖ Einlass- und Auslassventil

Auch bei den Ventilsitzen gab es keine Auffälligkeiten. Auf den Einlassventilen (im Bild links) wurde ein geringer krustenartiger Belag festgestellt, die Dichtflächen waren

jeweils in Ordnung. Bei den Auslassventilen konnte kaum ein Belag festgestellt werden, lediglich eine dünne rissartige Schicht, die zur Ventilführung hin abgegrenzt war.



**Abbildung 21: 01-OÖ Zylinderlaufbüchse**

Der Feuerstegbereich war bei allen Zylindern klar abgegrenzt. Der Belag am Feuersteg war dünn und krustenartig. Die Honspuren der Laufbahn waren ebenfalls bei allen Zylindern deutlich sichtbar, es konnten kaum Verschleißspuren festgestellt werden. Am Zylinder 1 waren auf der rechten Seite 6 cm von der Oberkante 4 Flecken erkennbar, die wie abgeätzt aussahen. Am Zylinder 4 war an der anlaufenden Seite der Zylinderbüchse eine kleine, nicht sehr tiefe, Riefe erkennbar.



**Abbildung 22: 01-OÖ Kolbenboden**

Die Kolbenböden waren allesamt kaum belegt, lediglich geschwärzt. Am Kolben von Zylinder 3 waren Einschlagstellen von Fremdkörpern erkennbar – dies ist eventuell auf einen zurückliegenden Turboladerschaden zurückzuführen. Alle Kolben waren bei der Stellung am oberen Totpunkt in der Büchse beweglich.





## 7. Schlussbetrachtung

Der Traktor New Holland TM 190 wurde im August 2003, bei einer bisherigen Laufleistung von 475 Traktormeterstunden, von der Firma Graml mit einem so genannten „Bioka 2 Tank Kraftstoffmanagement System“ ausgerüstet. Insgesamt wurde der Traktor im Rahmen des Projekts über 1.992 Traktormeterstunden mit diesem System betrieben.

Zu Versuchsbeginn war ein Nachjustieren der Systemparameter erforderlich, da sich nach dem Abstellen ein Rapsöl- Dieselmisch in den Kraftstoffleitungen befand.

Nach ca. 110 Einsatzstunden mit Rapsöl erfolgte ein Tausch der Einspritzpumpe aufgrund eines elektronischen Defektes. Nach weiteren 160 Einsatzstunden erfolgte abermals ein Tausch der Einspritzpumpe. Beide Male wurden die Einspritzpumpen zur Reparatur nach Deutschland gesandt. Der vorliegende Reparaturbericht lässt keine eindeutige Schlussfolgerung auf die Schadensursache zu. Im weiteren Betrieb traten danach keinerlei Probleme mit der Einspritzausrüstung auf.

Bei einer Laufleistung von ca. 1320 Einsatzstunden trat ein Schaden am Abgasturbolader auf. Dabei gelangten abgebrochene Teile bis in den Brennraum. Bei der abschließenden Motoröffnung wurden Einschlagspuren am Kolbenboden des 3. Zylinders festgestellt.

Die Leistungs- und Emissionsmessungen sind bedingt durch den Einspritzpumpentausch nicht direkt vergleichbar. Die Leistung liegt sowohl zu Beginn als auch zu Ende bei Rapsöl gleich auf mit der von Dieselmisch. Jedoch wurde bei der Messung zu Versuchsende ein Leistungsverlust von etwa 10 kW bei beiden Kraftstoffen festgestellt.

Bei den gesetzlich limitierten Schadstoffen der gasförmigen Emissionen ist bei Betrieb mit Rapsöl bei der Anfangsuntersuchung sowohl bei CO, HC und NO<sub>x</sub> nur ein geringfügiger Unterschied gegenüber Dieselmisch erkennbar. Die Messungen bei Versuchsende zeigten generell einen Anstieg bei beiden Kraftstoffen.



Ein durchgängig homogenes Bild ohne Grenzwertüberschreitungen konnte bei den Motorölanalysen hinsichtlich des Viskositäts- und TBN- Verlaufes festgestellt werden. Auch der Anteil der Verschleißelemente sowie der Raps- und Russgehalt lagen unterhalb der vorgegebenen Grenzen.

Grenzwertüberschreitungen gab es bei den Rapsölproben aus der Ölmühle zu Beginn des Projektes beim Parameter Gesamtverschmutzung. Ab 2006 gab es insgesamt kaum mehr Überschreitungen. Analog hat sich die Qualität der Kraftstoffproben aus dem Lagertank über die Zeit deutlich verbessert. Auch bei den Traktortankproben treten Grenzwertüberschreitungen vermehrt nur bis 2006 auf. Insgesamt konnte mit zunehmender Projektlaufzeit eine zufriedenstellende Kraftstoffqualität erreicht werden.

Die Auswertungen über den Datenlogger ergaben einen überraschend hohen Anteil mit Betriebszeiten von weniger als 10 Minuten Laufzeit. Über die Anzahl der Starts aufgetragen wurde der Traktor während der gesamten Laufzeit der Datenloggermessungen zu über 60% der Starts für Kurzzeitbetriebe im Intervall von einer Minute bis zehn Minuten gestartet.

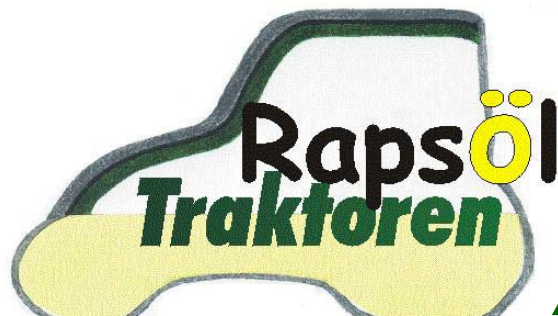
Auswertungen über das Startverhalten ergaben einen Anteil an Kaltstarts von ca. einem Drittel.

Die abschließende Motoruntersuchung zeigte einen der Einsatzzeit entsprechenden guten Zustand des Motors.



02-0Ö

02-0Ö



**Abschlussbericht**

September 2008

<b>Fahrzeug:</b>	<b>John Deere 6420 S</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>April 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.024 Betriebsstunden</b>



**Fahrzeugbeschreibung**

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	John Deere 6420 S
<b>Motortype</b>	4045 HLA 73
<b>Erstmalige Zulassung</b>	16. 03. 2002
<b>Motorhersteller</b>	John Deere
<b>Motor Nr.</b>	CD 4045H68799I
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasser (DTC Kühlsystem, 2 Kreise)
<b>Ölfüllmenge</b>	16 Liter
<b>Nennleistung</b>	81 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2300 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	4525 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hu</b>	106,5 x 127 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	17:1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch VP44
<b>Einspritzdruck</b>	255 - 260 bar
<b>Kraftstofftank</b>	185 Liter
<b>Eigengewicht</b>	5350 kg

**Untersuchungszeitraum**

<b>Anfangsuntersuchung</b>	April 2004
<b>bei TMh</b>	722
<b>Enduntersuchung</b>	März 2007
<b>bei TMh</b>	1.746

**Umrüstung**

<b>Umrüstsystem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Martin Graml

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen die Ergebnisse – Leistung, Kraftstoffverbrauch und spezifischer Kraftstoffverbrauch - der Anfangs- und Enduntersuchung bei Diesel- und Rapsölbetrieb.

Am Ende der Laufzeit konnte ein leichter Anstieg der Leistung sowohl im Diesel- wie im Rapsölbetrieb bei gleich bleibendem Verbrauch festgestellt werden.

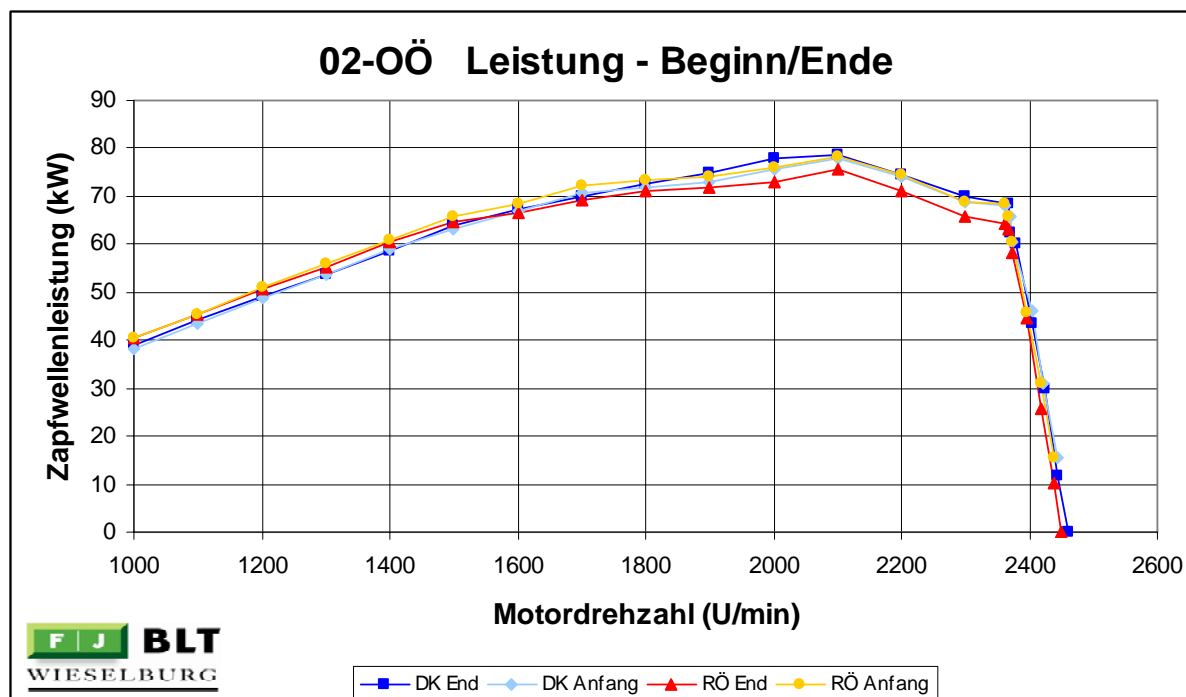


Abbildung 23: 02-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

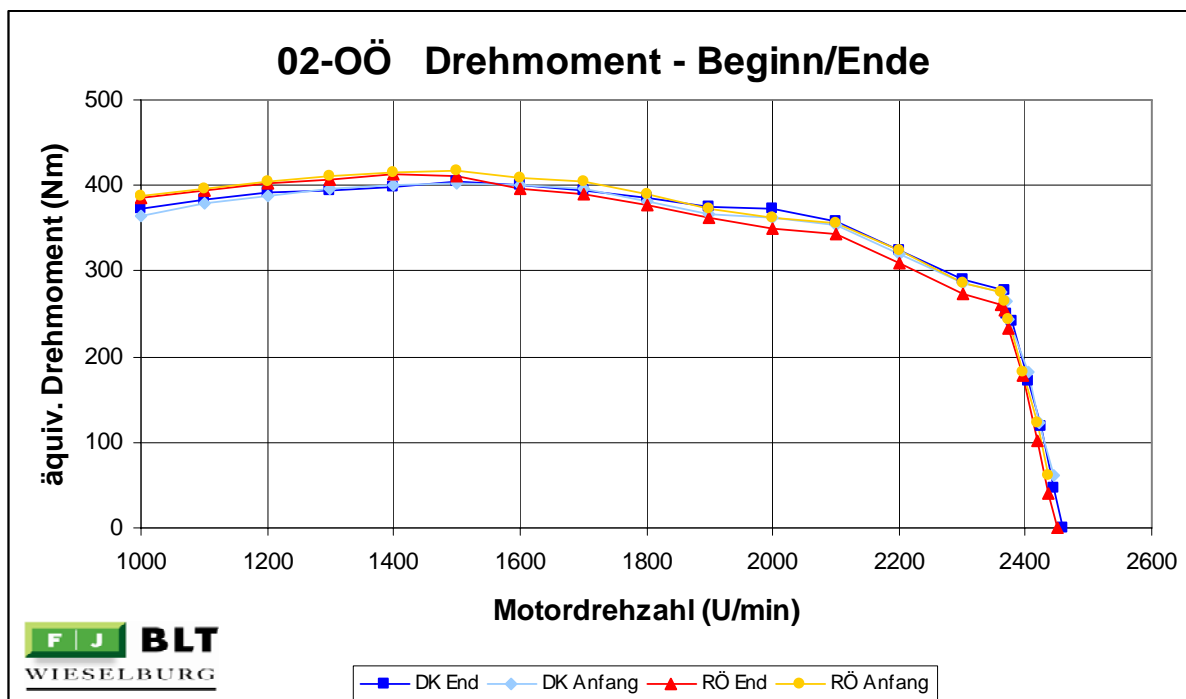


Abbildung 24: 02-OÖ Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

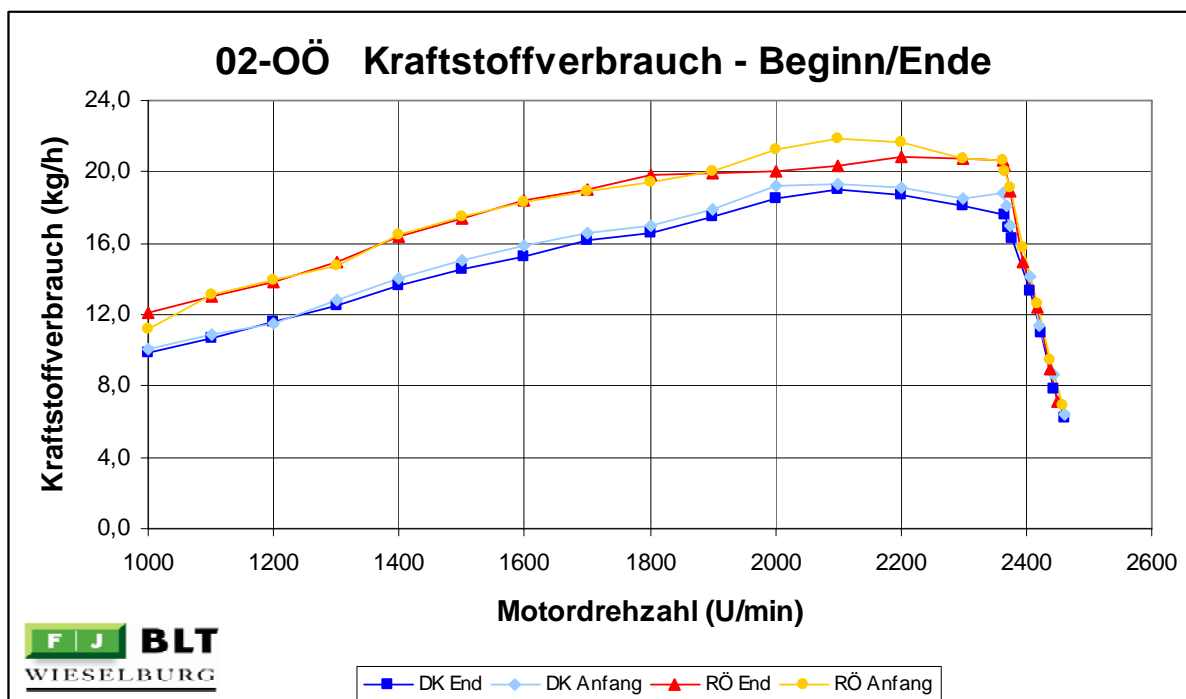


Abbildung 25: 02-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

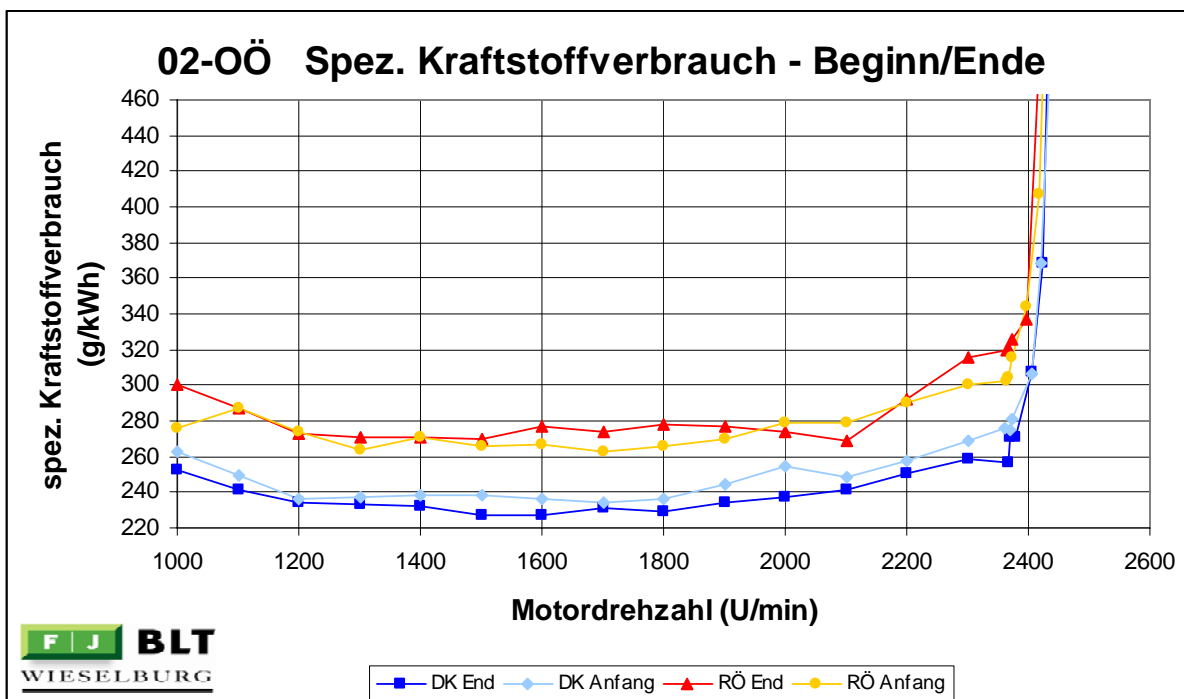


Abbildung 26: 02-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt eine Aufstellung der Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Sowohl bei Betrieb mit Rapsöl als auch bei Dieselkraftstoff ist ein Anstieg des Blow-by Wertes zu verzeichnen.

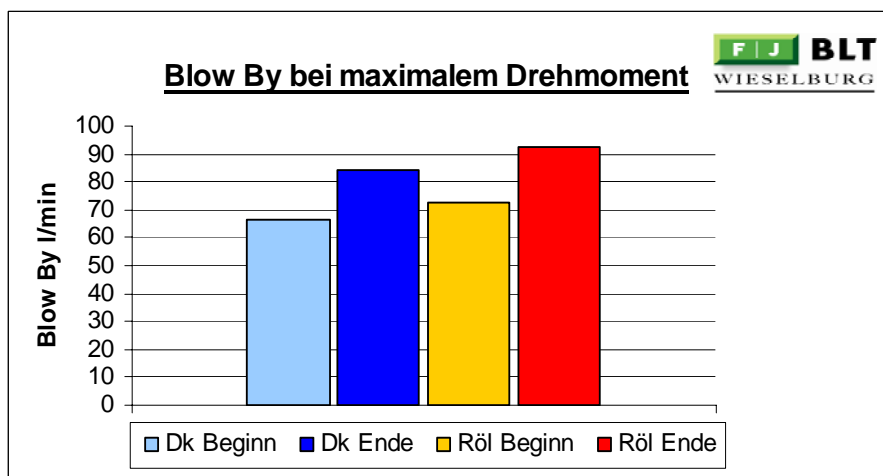


Abbildung 27: 02-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment



## Emissionsmessung

Bei der Anfangsuntersuchung waren sowohl die Kohlenmonoxid- als auch die Kohlenwasserstoffemissionen beim Betrieb mit Rapsöl höher als beim Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff. Diese Ergebnisse sind verglichen mit den anderen Traktoren sehr untypisch. Bei der Messung zu Versuchsende wurde bei Rapsöl- und bei Dieseldieselbetrieb ein Ansteigen der Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen festgestellt. Die Emissionen der Kohlenwasserstoffe nahmen hingegen über die Zeit jeweils leicht ab.

**Tabelle 5: 02-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende RÖ	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	21.10.2004	06.03.2007	21.10.2004	08.03.2007
CO	0,99	1,15	0,61	0,71
HC	0,20	0,18	0,18	0,16
NOx	12,26	16,04	12,53	14,06



## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Universal HD SAE 15W – 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber auf 250 Betriebsstunden reduziert.

Während der Projektteilnahme wurden 3 vollständige Ölwechselintervalle und ein Intervall bis 180 TMh untersucht. Von 24 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskosität bei 40°C und bei 100°C gemessen und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 20% der erforderlichen Proben wurden vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangswert. Als tolerierbarer Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

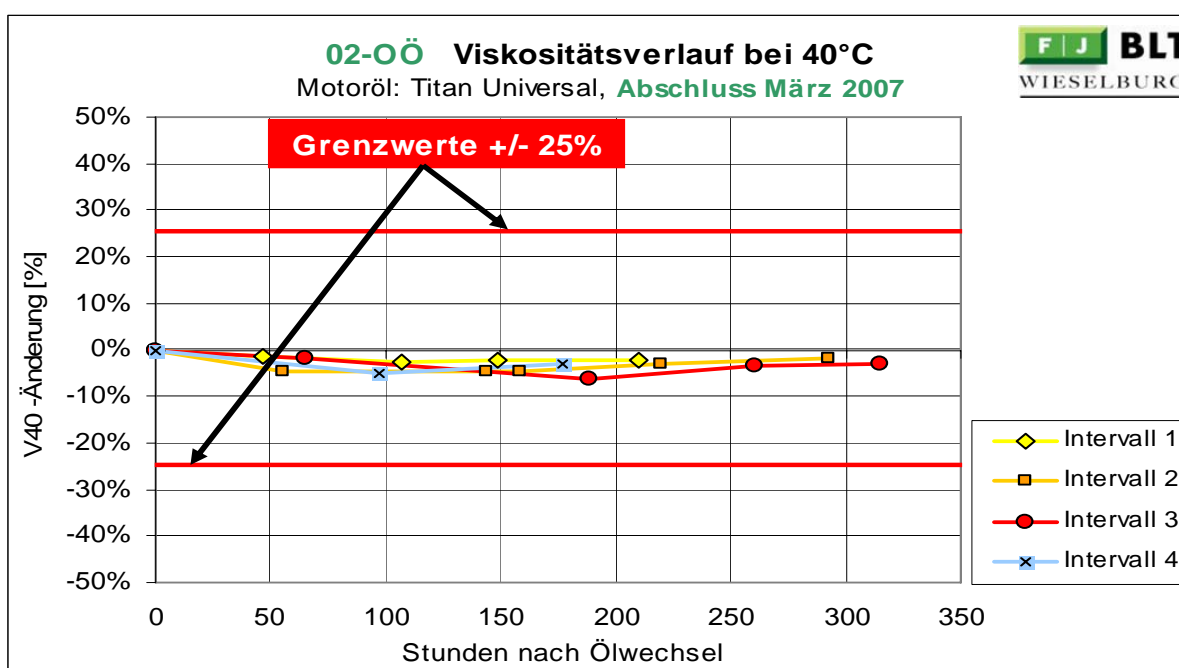


Abbildung 28: 02-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Der Verlauf der Viskosität bei 40°C war sehr gleichmäßig und fiel im Durchschnitt je Ölwechselintervall um nicht mehr als 3%. Der Viskositätsverlauf bei 100°C war auch konstant, der höchste Anstieg trat beim Intervall 1 auf – hier stieg die Viskosität um knapp 5% im Vergleich zur 5-min-Probe an.

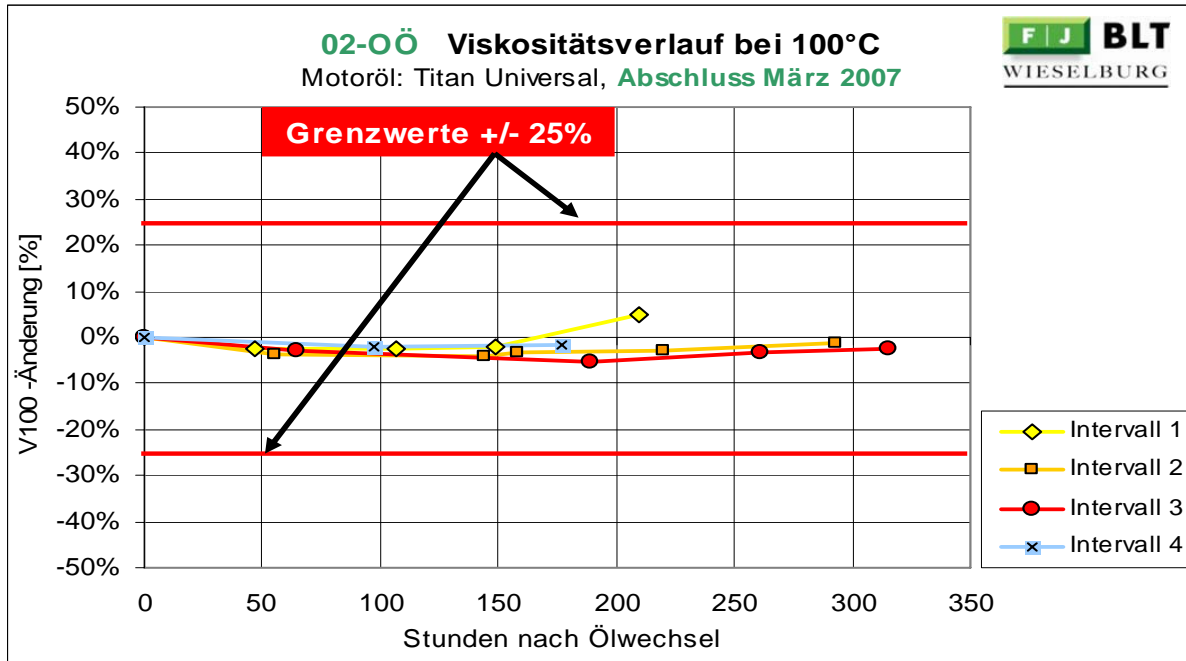


Abbildung 29: 02-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

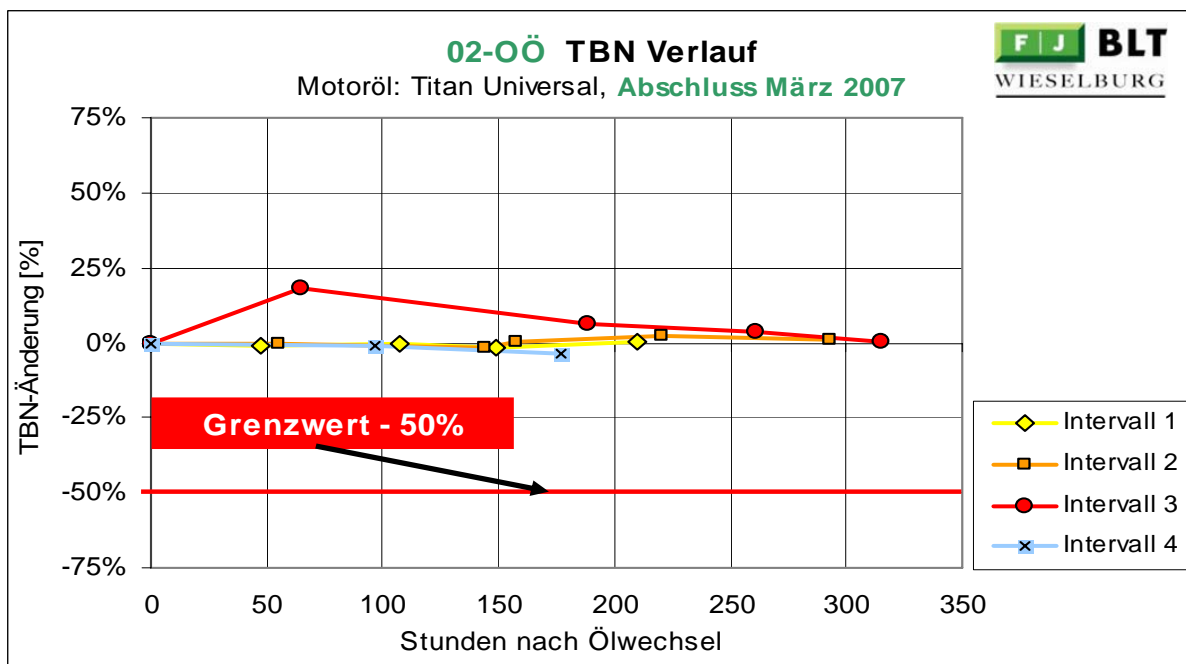


Abbildung 30: 02-OÖ Änderung der Total Base Number

Die Analysenwerte der Total Base Number nehmen mit zunehmender Ölalterung ab. Ein untypischer Wert war innerhalb des Intervalls 3 zu verzeichnen – hier war ein Anstieg um 18% zwischen 5-Minuten-Probe und 50-Stunden-Probe festzustellen. Eine Erklärung für dieses Ergebnis wäre, dass alkalische Bestandteile in das Motoröl gelangt sind, die bis zum nächsten Intervall wieder ausgewaschen wurden.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden neun Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich des Russ- und Rapsölgehaltes, sowie auf den Gehalt an Verschleißmetallen untersucht wurden. Es wurden keine auffälligen Schwankungen bzw. Grenzwertüberschreitungen festgestellt.

Die Gehalte der Verschleißelemente Blei, Aluminium, Kupfer und Chrom lagen deutlich unter dem vorgegebenen Grenzwert der Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh.

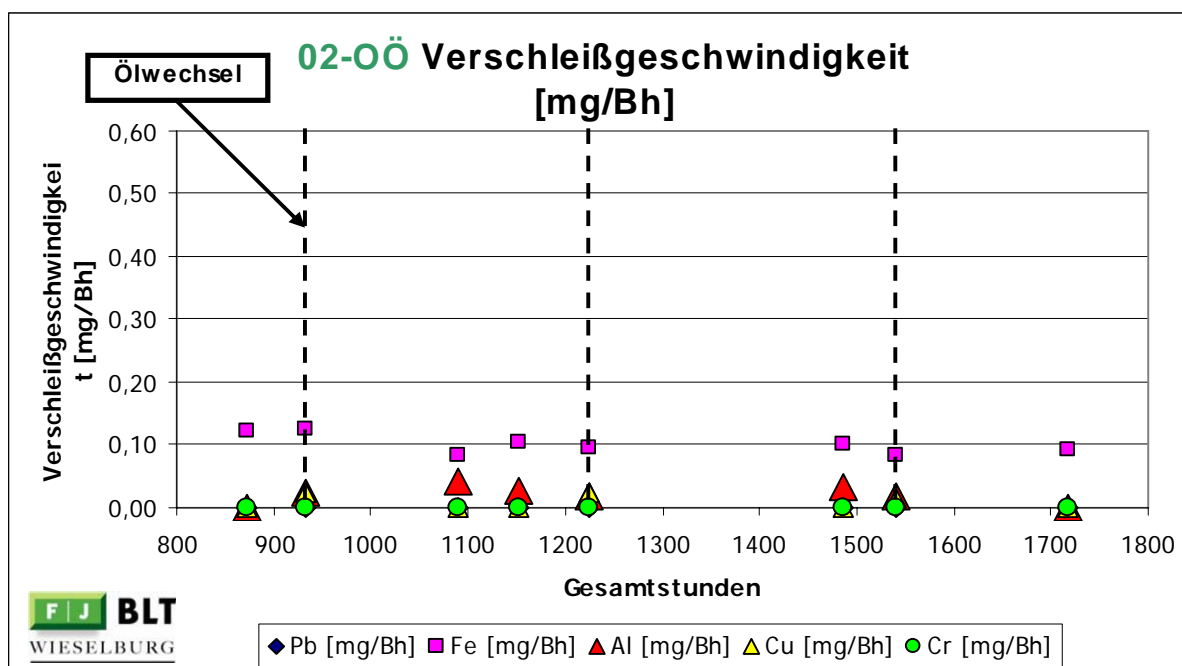


Abbildung 31: 02-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Der Rapsöleintrag lag im Durchschnitt bei 2,8%, der Russgehalt bei 0,17%. Diese Werte liegen deutlich unter dem von der Firma Fuchs vorgegebenen Richtwerten von maximal 15% Rapsöleintrag bzw. 3% Russgehalt.

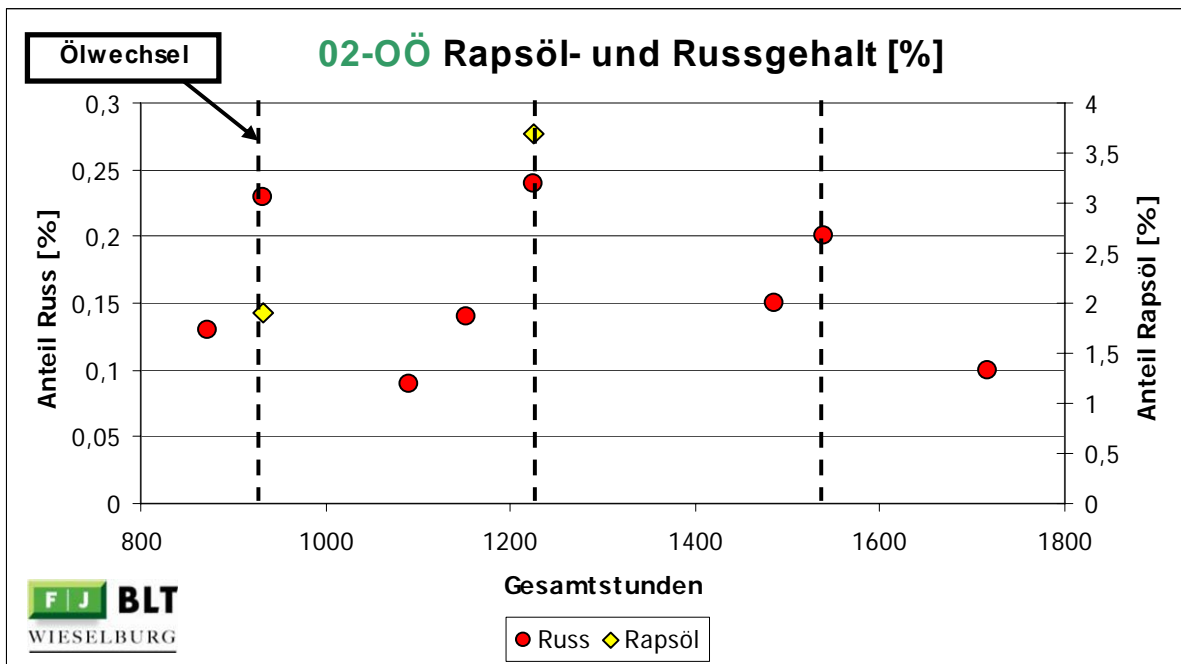


Abbildung 32: 02-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

**Kommentar Fa. Fuchs**

Die physikalisch-chemischen Parameter der untersuchten Proben sind als unauffällig einzustufen. Russ- und Kraftstoffeintrag bewegen sich zudem auf einem sehr niedrigen Niveau. Anhand der Verschleißelemente kann ein unkritischer Trendverlauf über alle Intervalle attestiert werden.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 44 Proben aus der Ölmühle, acht Proben aus dem Lagertank, sowie neun Proben aus dem Traktortank gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analyseergebnisse der Lagertank- und Traktortankproben dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht den Anforderungen der österreichischen Kraftstoffverordnung

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Tabelle 6: 02-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
09.06.2004		34,78	35,35	1,65	5,88	5,90	0,070
24.02.2005	918	34,71	24,00	0,89		4,60	0,066
30.05.2005	919	34,59	15,45	1,56	3,22	5,20	0,070
22.09.2005	917	34,79	27,78	0,98	5,70	6,81	0,073
01.12.2005	915	34,69	28,30	1,03	2,17	6,97	0,059
29.03.2006	916	34,87		0,99	0,88	5,34	0,063
24.05.2006	917	34,68	7,20	1,92	1,63	7,35	0,084
25.08.2006	921	34,97	21,73	1,42	4,50	8,20	0,075

Grenzwertüberschreitungen gab es bis Ende 2005 vor allem beim Parameter Gesamtverschmutzung (GV). Der in der Kraftstoffverordnung vorgegebene Grenzwert von 25 mg/kg konnte in den ersten Jahren des Projektes großteils nicht eingehalten werden. Seit 2006 gab es bei den hier gezogenen Proben keine Überschreitung mehr.

Die ebenfalls rot markierten Werte hinsichtlich der Oxidationsstabilität sind zu relativieren als sie für die Proben aus dem Lagertank nur als Richtwert gelten. Dieser Parameter muss bei der Qualität des Öles ab Ölmühle eingehalten werden. Die durchgehende Unterschreitung des geforderten Grenzwertes bei den letzten 4 analysierten Lagertankproben deutet auf ungünstige Lagerbedingungen hin.

Grenzwertüberschreitungen des Wassergehaltes gab es bei den letzten beiden Kraftstoffproben.

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Tabelle 7: 02-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
01.09.2004	908	26,98	16,95	1,28	8,19	0,064	10
24.02.2005	900	19,85	24,47	0,85	4,53	0,052	22
30.05.2005	891	14,86	11,15	1,14	4,52	0,052	33
22.09.2005	906	25,62	15,60	0,90	6,42	0,067	12
01.12.2005	894	18,19	27,82	0,72	5,43	0,053	25
29.03.2006	855	5,43	13,78	0,33	2,46	0,024	71
24.05.2006	903	22,00	12,48	1,52	6,53	0,069	18
25.08.2006	905	21,99	11,55	1,25	7,32	0,071	18
05.03.2007	913	28,38	12,73	0,78		0,068	8

Die markierten Überschreitungen des Toleranzbereiches der Dichte sind auf einen höheren Anteil an Dieseldieselkraftstoff zurückzuführen, welcher durch Spülvorgänge und als Lecköl bei Dieseldieselbetrieb systembedingt in den Rapsöltank gelangt. Der Dieselanteil beträgt bei den gemessenen Proben bis zu 71%. Dieser hohe Dieselanteil ist durch das Einsatzprofil des Traktors mit häufigen Startvorgängen und kurzen Betriebszeiten erklärbar.

Die übrigen Parameter konnten bei allen Stichproben durchgängig eingehalten werden, lediglich einmal wurde der Grenzwert der Gesamtverschmutzung überschritten.

## 4. Auswertungen Datenlogger

Während der Gesamtbetriebsdauer von 1.024 Stunden wurden 500 Betriebsstunden mit einem Datenlogger mitgemessen um zusätzliche Aufzeichnungen über die Auslastung bzw. die Art der Tätigkeiten zu erhalten. Über acht Kanäle wurden die Zündspannung, die Drehzahl, sowie die Temperaturen von Ansaugluft, Motoröl, Kühlflüssigkeit, Kraftstofffilter, Kraftstofftank, sowie die Abgastemperatur in 2-Minuten-Intervallen gemessen. Zusätzlich wurden die Anzahl der Starts und die Laufzeiten dokumentiert.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die entsprechenden Ergebnisse.

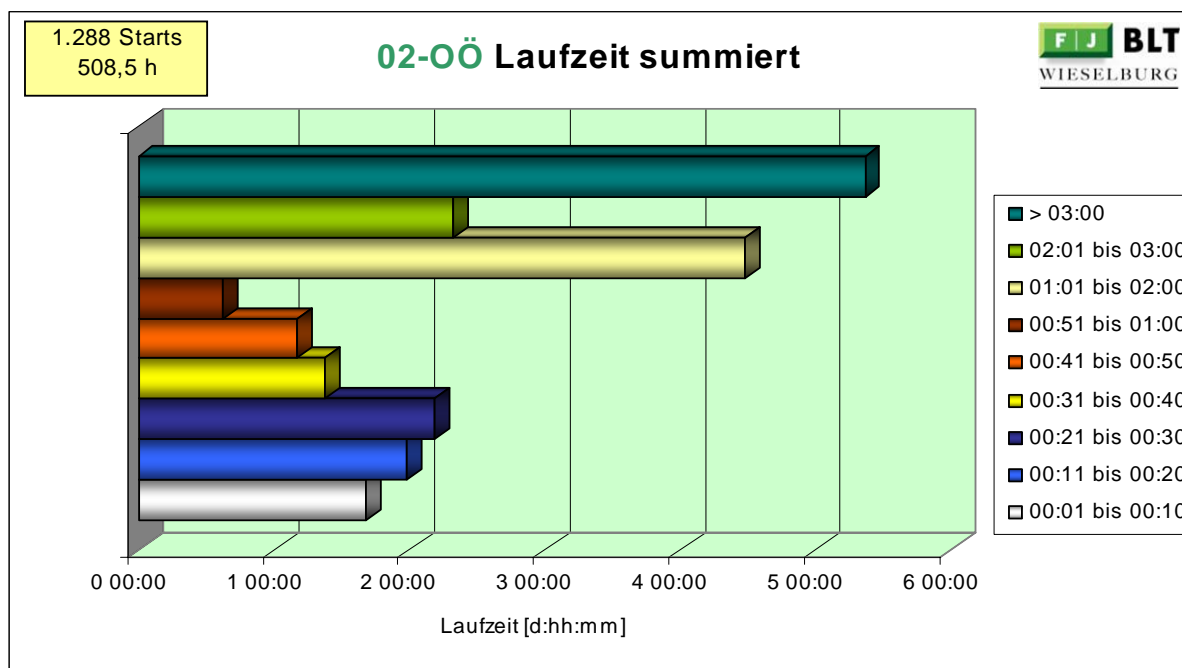
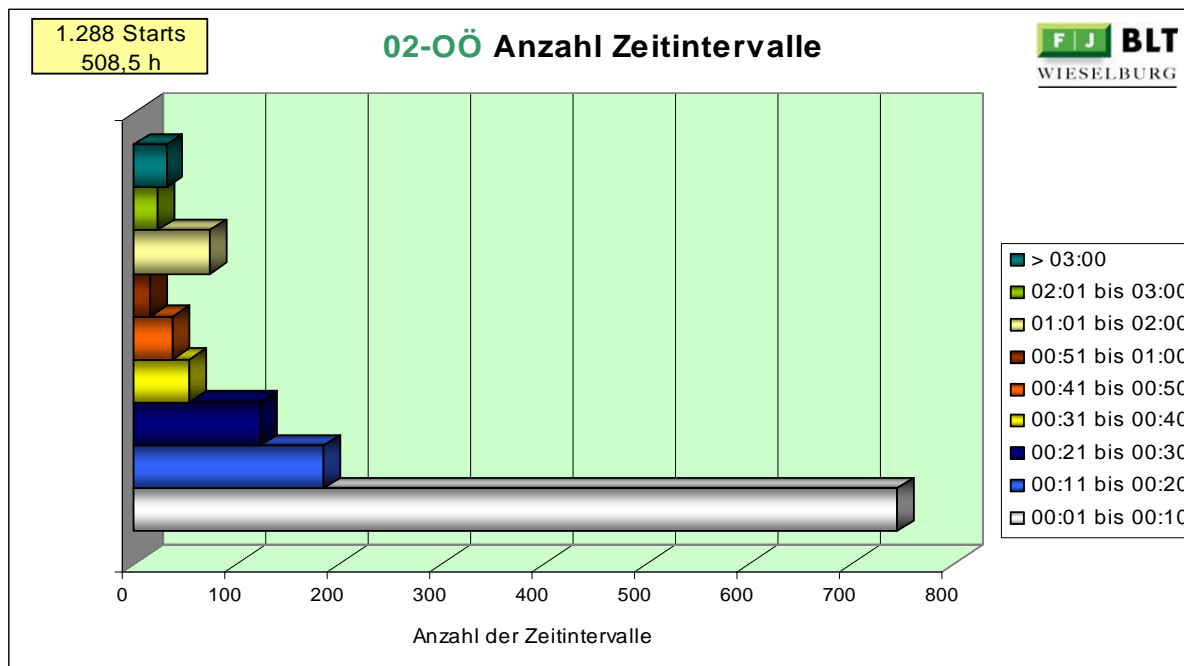


Abbildung 33: 02-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit

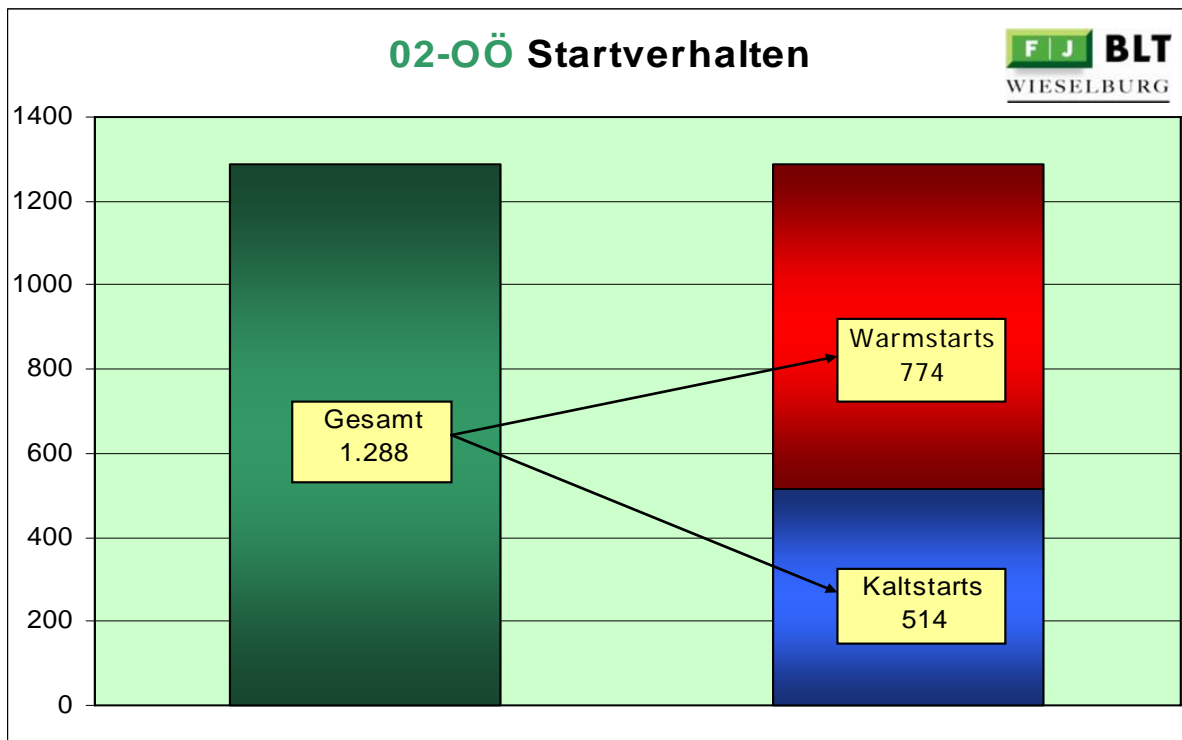


**Abbildung 34: 02-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Anzahl der Starts**

Die tatsächliche Messzeit entspricht nicht zwangsläufig der Gesamtlaufzeit des Traktors, da die Messaufzeichnungen nicht lückenlos geführt werden konnten. Insgesamt wurden bei diesem Traktor 500 Betriebsstunden mit dem Datenlogger dokumentiert.

Betrachtet man die Abbildung über die Laufzeit, war der Traktor am längsten im Intervall zwischen einer und zwei Stunden bzw. „größer drei Stunden“ in Betrieb. Diese Aussage wird jedoch relativiert, wenn man dieselben Zeitintervalle auf die Anzahl der Starts aufträgt. Hierbei ist deutlich zu sehen, dass der Traktor mit Abstand am häufigsten im Intervall zwischen einer und zehn Minuten betrieben wurde. Anzahlmäßig ausgedrückt, wurde der Traktor während der gesamten Laufzeit der Datenloggermessungen zu knapp 60% für Kurzzeitbetriebe im Intervall von einer Minute bis zehn Minuten gestartet.





**Abbildung 35: 02-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts**

Um Aussagen über das Startverhalten zu erhalten, wurden Starts mit einer Temperatur der Kühlflüssigkeit oder des Motoröles von  $<50^{\circ}\text{C}$  als Kaltstart klassifiziert. In diesem Fall sind von 1.288 aufgezeichneten Starts beinahe 40% Kaltstarts. Damit liegt der Traktor vergleichsweise deutlich über dem Durchschnitt aller vermessenen Traktoren von 33%.

Nachfolgend sind Häufigkeitsverteilungen der Kanäle Motoröl-, Kühlflüssigkeit-, sowie Kraftstofffiltertemperatur dargestellt. Die Auswertungen basieren jeweils auf über 15.000 Einzelmesswerten.

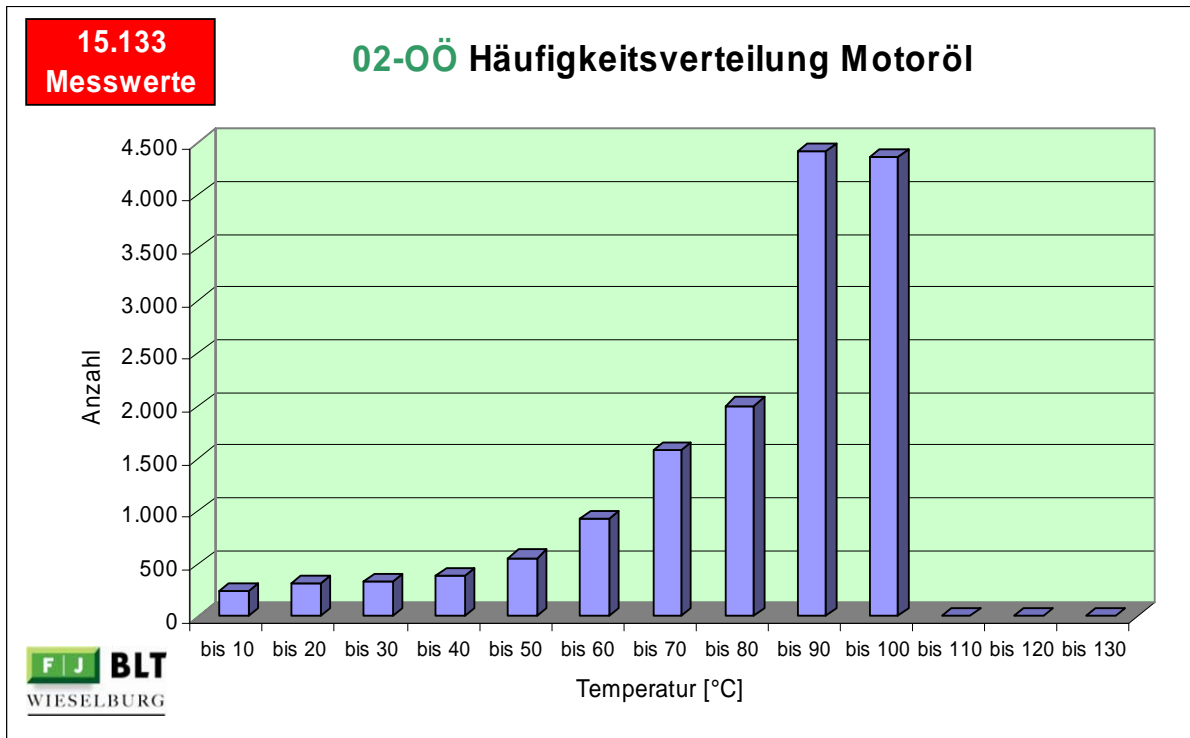


Abbildung 36: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur

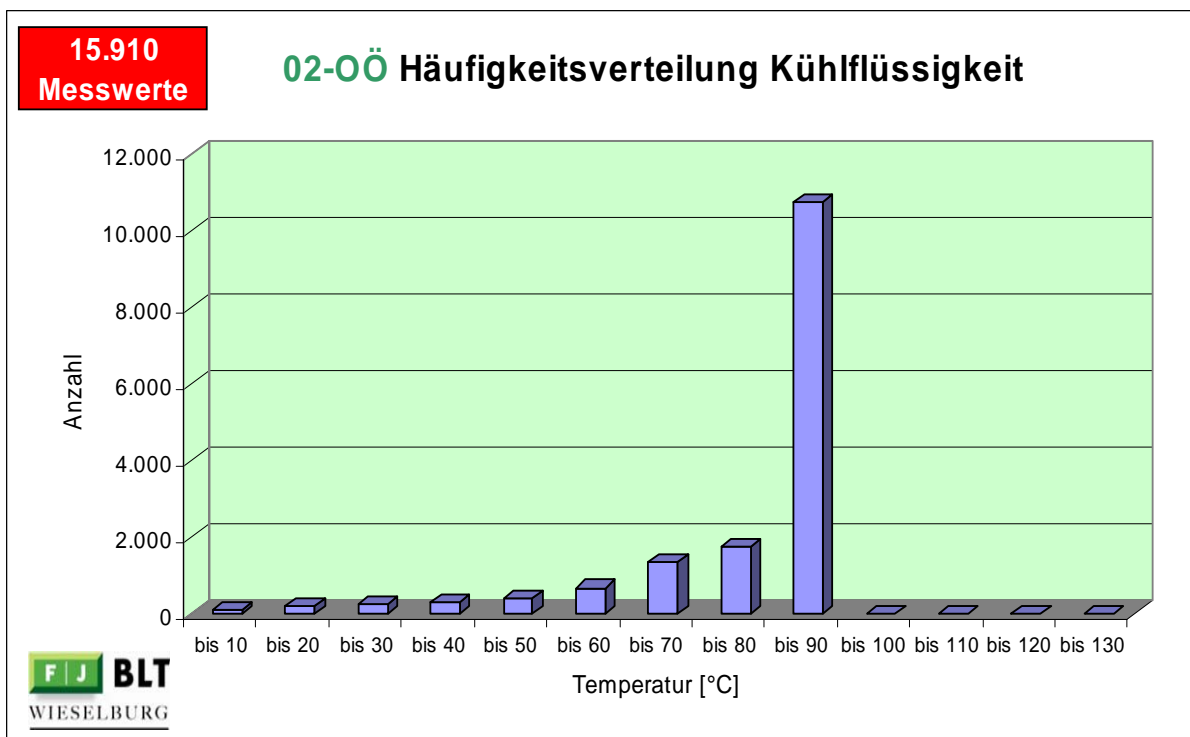
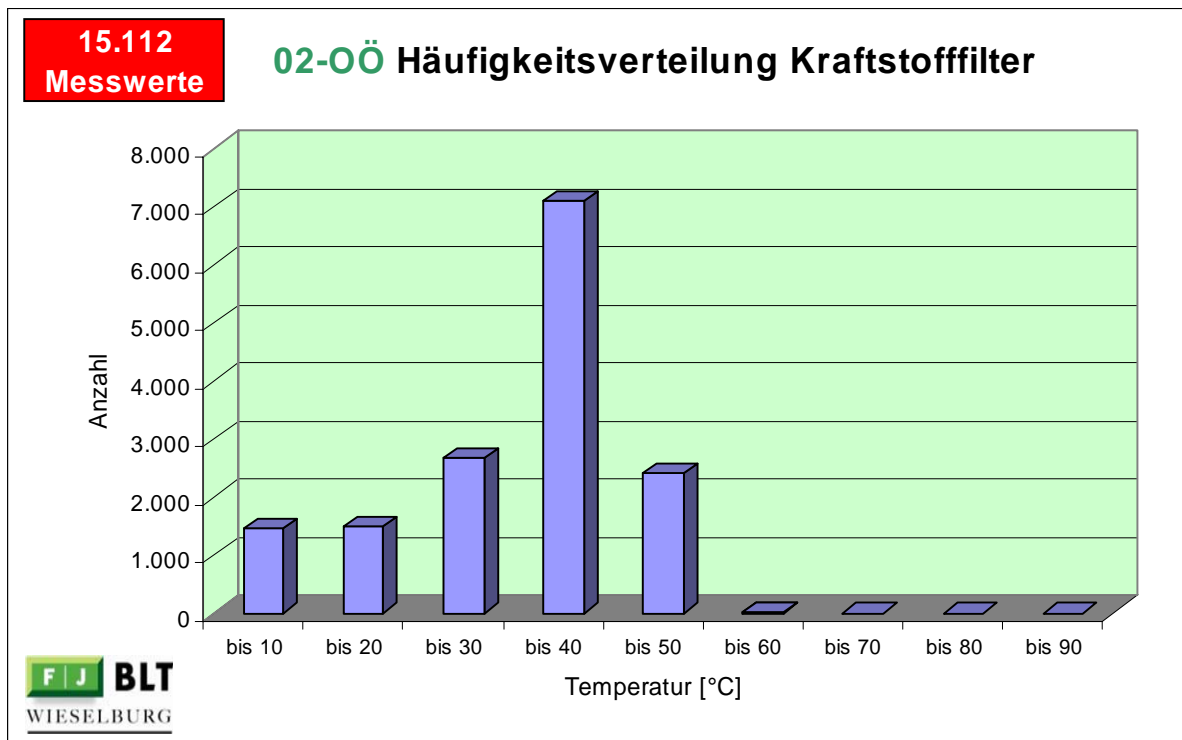


Abbildung 37: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur



**Abbildung 38: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur**

Aus diesen Abbildungen lässt sich zusammenfassen, dass die Ergebnisse im jeweils zu erwartenden Temperaturbereich lagen. Bei den Motoröltemperaturen sind die beiden Temperaturklassen von 80 – 90°C bzw. 90 – 100°C am meisten vertreten. Bei der Temperatur der Kühlflüssigkeit lag das Maximum zwischen 80 und 90°C. Die Charakteristik der Häufigkeitsverteilung der Temperatur der Kühlflüssigkeit ergibt sich durch das Öffnen des Thermostates bei der vorgegebenen Temperatur. Knapp die Hälfte aller Temperaturmesswerte des Kraftstofffilters lagen zwischen 30 und 40°C, etwas mehr als 2000 Messwerte wurden jeweils im Temperaturbereich von 20 - 30°C bzw. 40 – 50°C registriert.



## 5. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Dieser Traktor wurde laut der Eintragungen des Traktortagebuches über einen Zeitraum von knapp drei Jahren mit Rapsöl betrieben. Die ausgewerteten Formulare dokumentieren ca. 1.000 Betriebsstunden.

Den Tankaufzeichnungen zufolge lag der Verbrauch bei diesem Traktor bei knapp 10 Litern je Stunde. Der Anteil des Dieserverbrauchs betrug bei diesem Traktor mit einer 2-Tank-System Umrüstung 15%. Der Traktor wurde zum überwiegenden Teil für leichte Arbeiten genutzt.

Nachfolgend sind die Auswertungen der einzelnen Parameter angeführt.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 02 John Deere 6420 S



Allgemeine Daten:

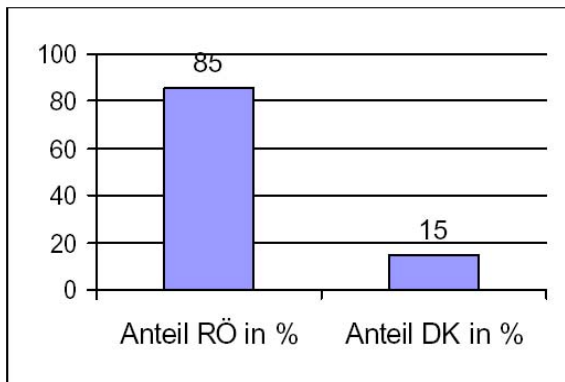
Erster Eintrag: 28. Mai. 04 bei TMh: 726,3  
 Letzter Eintrag 25. Feb. 07 bei TMh: 1692,0 TMh lt. Traktortagebuch **965,7**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
78

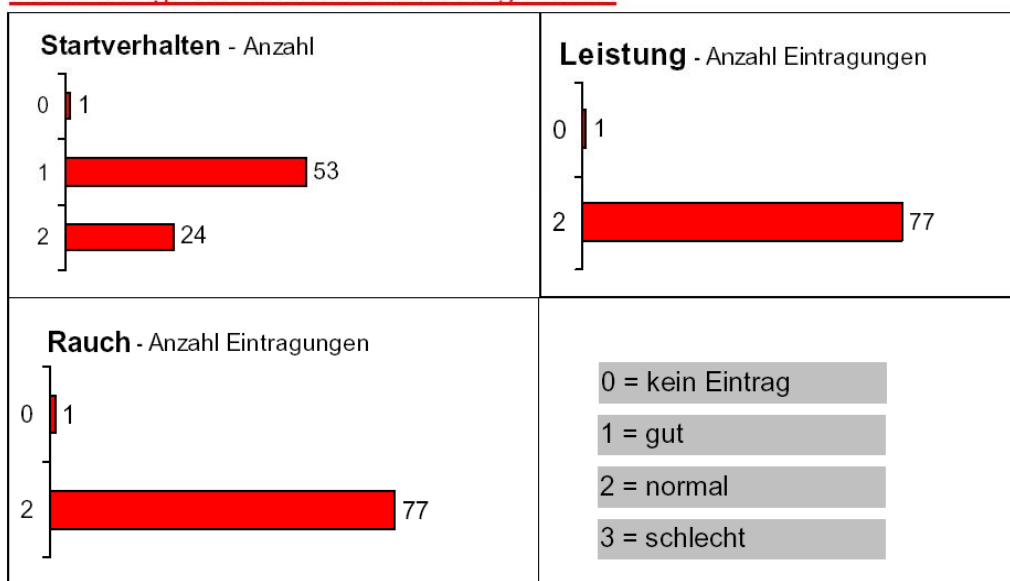
Tankmengen:

Diesel in l: 1486  
 Rapsöl in l: 8581

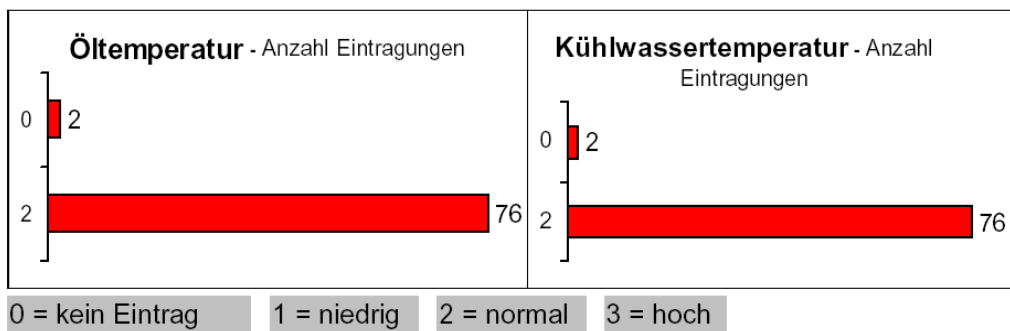
durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**10,42**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



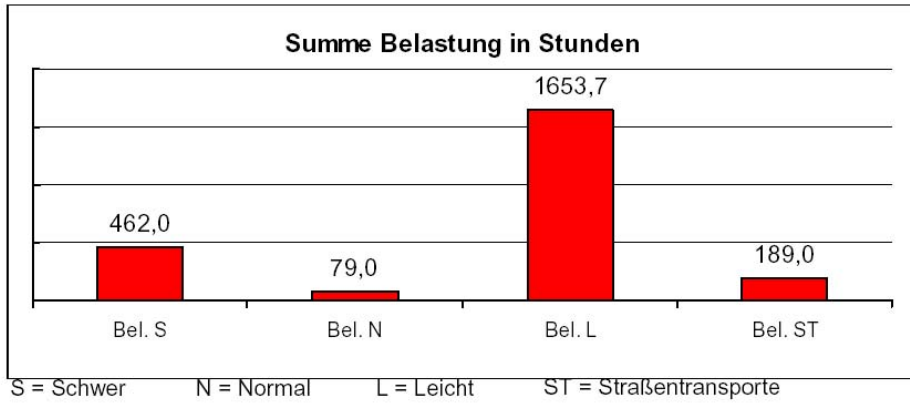


Traktortagebuch

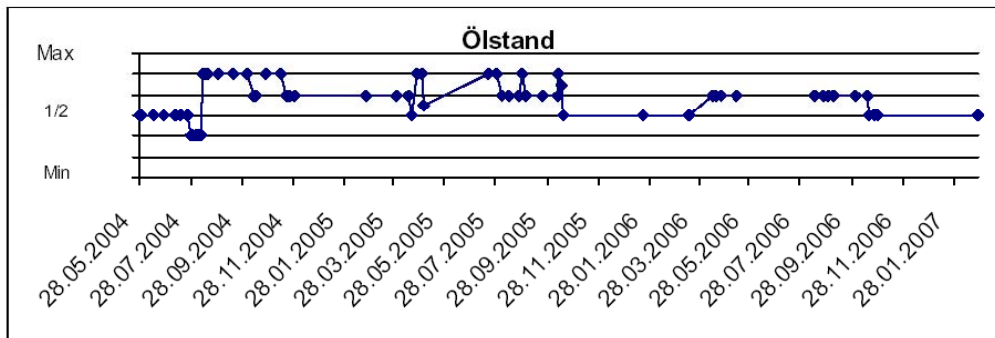
Fahrzeug: 02 John Deere 6420 S



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 6. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Düsenöffnungsdruck und das Spritzbild der Düsen gemessen bzw. überprüft. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuerstegbereich, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

**Tabelle 8: 02-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	28	26	8	24	255	245	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	26	25	9	14	260	245	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	26	24	9	20	255	240	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	28	23	9	26	260	235	i.O.	defekt	Düse 4

i.O.....in Ordnung

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende einen etwas geringeren Druck. Der Druckverlust erhöhte sich bei Versuchsende an allen Zylindern und ist vermutlich auf Verschleiß zurückzuführen. Die Werte lagen jedoch insgesamt noch im Normalbereich. Auch der Düsenöffnungsdruck nahm etwas ab.

Die Einspritzdüsen waren relativ schwer zu demontieren. Die Düse von Zyl. 4 war bei der Enduntersuchung nur mit erheblichem Kraftaufwand zu lockern und wurde bei der Demontage vermutlich beschädigt. Alle anderen Düsen waren in Ordnung. Die Düsen spitzen waren mit einem dünnen schwarzen russartigen Belag versehen, die Düsenlöcher allesamt frei. Der Schaftbereich der Düsenstöcke war mit einer dünnen schwarzen Kruste überzogen. Insgesamt zeigten die Düsen ein normales Aussehen.



Abbildung 39: 02-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Die Zylinderkopfoberfläche wies einen schwarzen russartigen Belag auf, welcher im Randbereich in eine feucht aussehende Verkrustung überging.

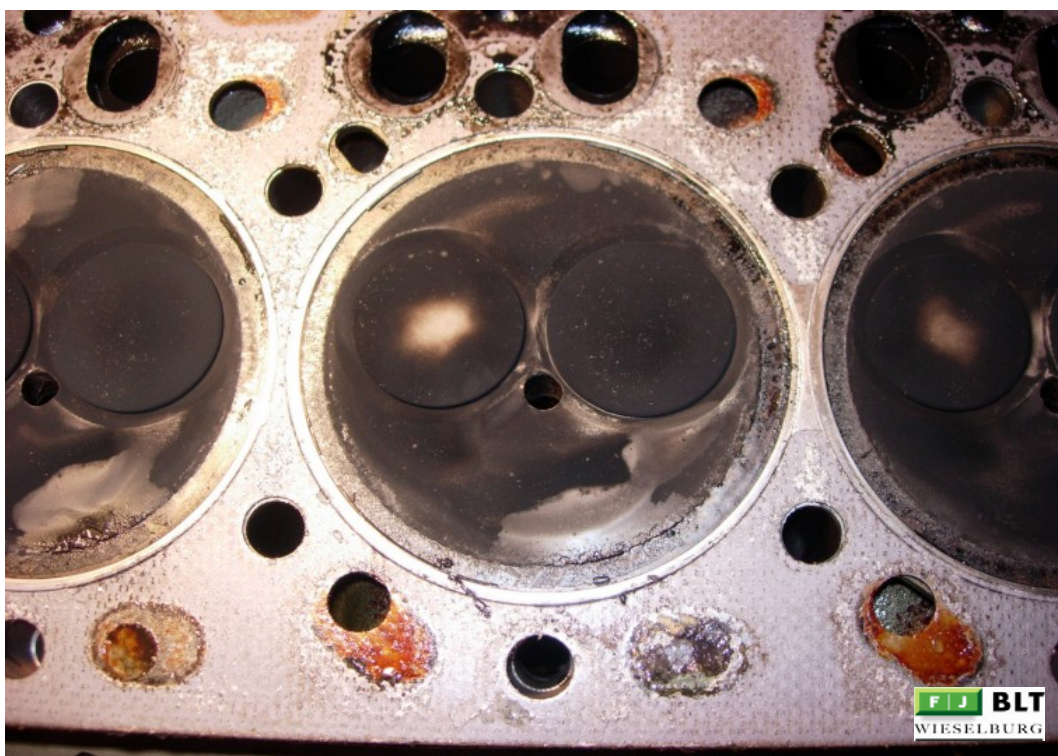


Abbildung 40: 02-OÖ Zylinderkopf





**Abbildung 41: 02-OÖ Auslass- und Einlassventil**

Die Einlassventile sahen alle feucht aus und waren mit einer relativ geringen schwarzen Kruste belegt. Die Abdichtung und Ventilfehrung zeigten keine Auffälligkeiten. Die Auslassventile waren mit einem dünnen trockenen russartigen Belag versehen, welcher in Richtung Ventilschaft eine zunehmend weiße Färbung annahm.

Die Zylinderlaufbüchsen waren in einem guten Zustand. Die Honspuren der Bearbeitung waren deutlich sichtbar. Der Feuerstegbereich war bei allen Zylindern klar abgegrenzt. Der Belag war ca. 1 mm dick und bildete eine feste Kruste.



**Abbildung 42: 02-OÖ Zylinderlaufbüchse**

Die Kolbenoberfläche wies einen trockenen dünnen Russbelag (geht leicht ab) auf. Die Konsistenz war eher grobkörnig. Das Spritzbild der Düsen war im Kolbenboden teilweise erkennbar.



**Abbildung 43: 02-OÖ Kolbenboden**



## 7. Schlussbetrachtung

Der Traktor John Deere 6420 S wurde im April 2004 bei einem bisherigen Einsatz von 722 Traktormeterstunden von der Firma Graml mit einem so genannten Bioka 2 Tank Kraftstoffmanagement System ausgerüstet. Der Traktor wurde insgesamt 1.024 Traktormeterstunden mit diesem System betrieben.

Kurz nach Versuchsbeginn wurde die Spülzeit nach Umschaltvorgängen von 2 Minuten auf eine Minute reduziert und ein Regelthermostat für die Regelung der Kraftstofftemperatur eingebaut. Dies ermöglichte einen störungsfreien Betrieb bis Versuchsende.

Der Vergleich der Leistungsmessung ergab über die Laufzeit eine leichte Steigerung bei gleich bleibendem Verbrauch sowohl im Diesel- als auch im Rapsölbetrieb.

Die Emissionswerte der Anfangsuntersuchung wiesen sowohl hinsichtlich der Kohlenmonoxid- als auch der Kohlenwasserstoffemissionen beim Betrieb mit Rapsöl höhere Emissionen auf als bei Dieselbetrieb. Diese Ergebnisse sind verglichen mit den anderen Traktoren sehr untypisch. Bei der Messung zu Versuchsende wurde bei Rapsöl- und bei Dieselbetrieb ein Ansteigen der Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen festgestellt. Der Anteil der Kohlenwasserstoffe nahm hingegen über die Zeit jeweils leicht ab.

Ein durchgängig homogenes Bild ohne Grenzwertüberschreitungen konnte bei den Motorölanalysen hinsichtlich des Viskositäts- und TBN-Verlaufes festgestellt werden. Der Gehalt an Verschleißelementen sowie der Raps- und Russgehalt lagen deutlich unter den vorgegebenen Grenzwerten der Firma Fuchs.

Die Beprobung des Lagertankes zeigte hinsichtlich der Kraftstoffqualität bis Ende 2005 einige Überschreitungen der Gesamtverschmutzung. Der Wassergehalt wurde bei den letzten beiden Probenziehungen überschritten und konnte auch bei den übrigen Qualitätsüberprüfungen grenzwertig eingehalten werden. Die



Lagerbedingungen sollten kritisch geprüft und verbessert werden. Die Qualität der Proben aus dem Traktortank entsprach den Normanforderungen.

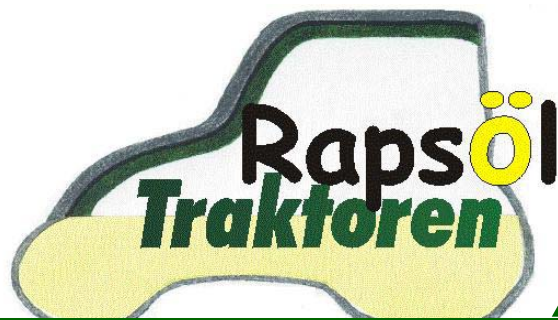
Die Auswertungen über den Datenlogger ergaben einen überraschend hohen Anteil mit Betriebszeiten von weniger als 10 Minuten. Über die Anzahl der Starts aufgetragen, wurde der Traktor während der gesamten Laufzeit der Datenloggermessungen zu knapp 60% für Kurzzeitbetriebe im Intervall von einer Minute bis zehn Minuten gestartet. Auswertungen über das Startverhalten ergaben einen Anteil an Kaltstarts von beinahe 40%.

Die Motoruntersuchung bei Versuchsende zeigte einen mangelfreien Zustand des Motors.



03-OÖ

03-OÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>New Holland TM 150</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>April 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.159 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	New Holland TM 150
<b>Motortype</b>	75 T/WV
<b>Erstmalige Zulassung</b>	08.03.2002
<b>Motorhersteller</b>	CNH
<b>Motor Nr.</b>	87801977
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	19 Liter mit Filter
<b>Nennleistung</b>	110 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2200 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	7480 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	111,8 x 127 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	17,5:1
<b>Einspritzpumpe</b>	BOSCH
<b>Einspritzdruck</b>	
<b>Kraftstofftank</b>	325 Liter
<b>Eigengewicht</b>	5785 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	April 2004
<b>bei TMh</b>	1065
<b>Enduntersuchung</b>	Juni 2008
<b>bei TMh</b>	3224

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Martin Graml

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Zu Versuchsbeginn wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Aufgrund des mangelnden Wartungszustandes des Traktors zum Zeitpunkt der Anlieferung am Prüfstand konnte im Rahmen der Abschlussuntersuchung lediglich eine Messung der Volllastkurve mit Rapsöl durchgeführt werden.

Nachfolgend sind die im Rahmen der Untersuchungen gemessenen Leistungs- und Verbrauchskurven von Dieselpkraftstoff im Vergleich mit Rapsöl als Kraftstoff dargestellt.

Die Leistungskurven verliefen mit beiden Kraftstoffen nahezu ident; bei Rapsölbetrieb wurde ein geringer Mehrverbrauch gemessen. Generell wies der New Holland TM 150 gegenüber herkömmlichen Serientraktoren eine Mehrleistung auf.

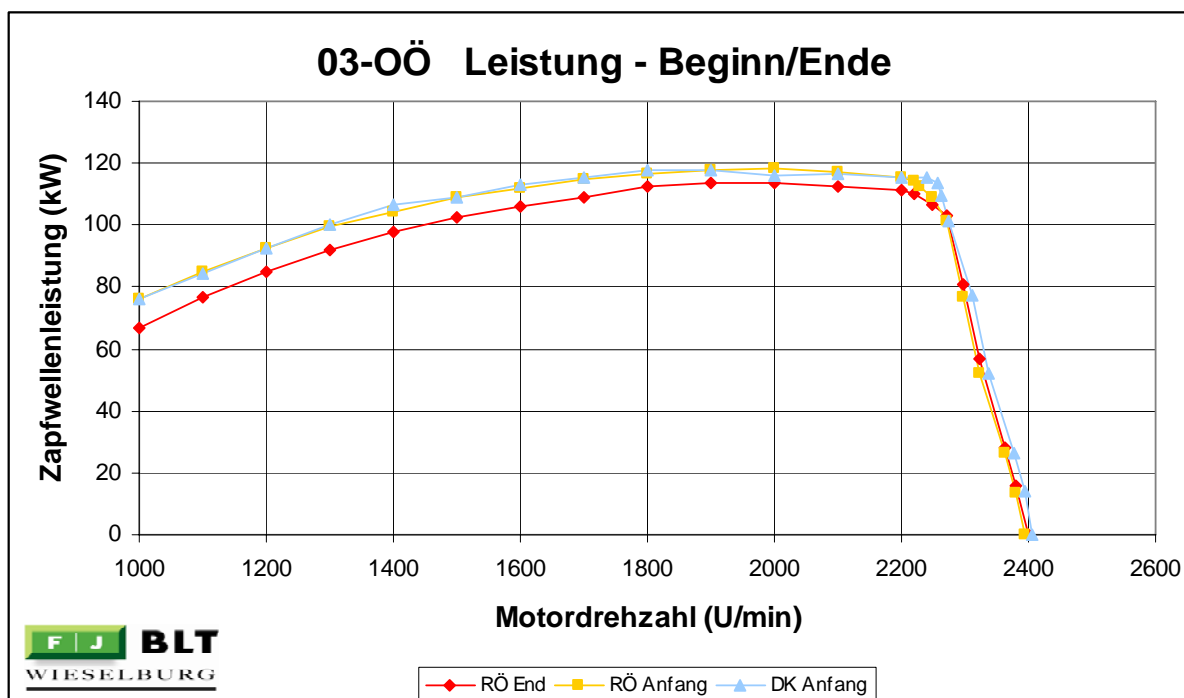


Abbildung 44: 03-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

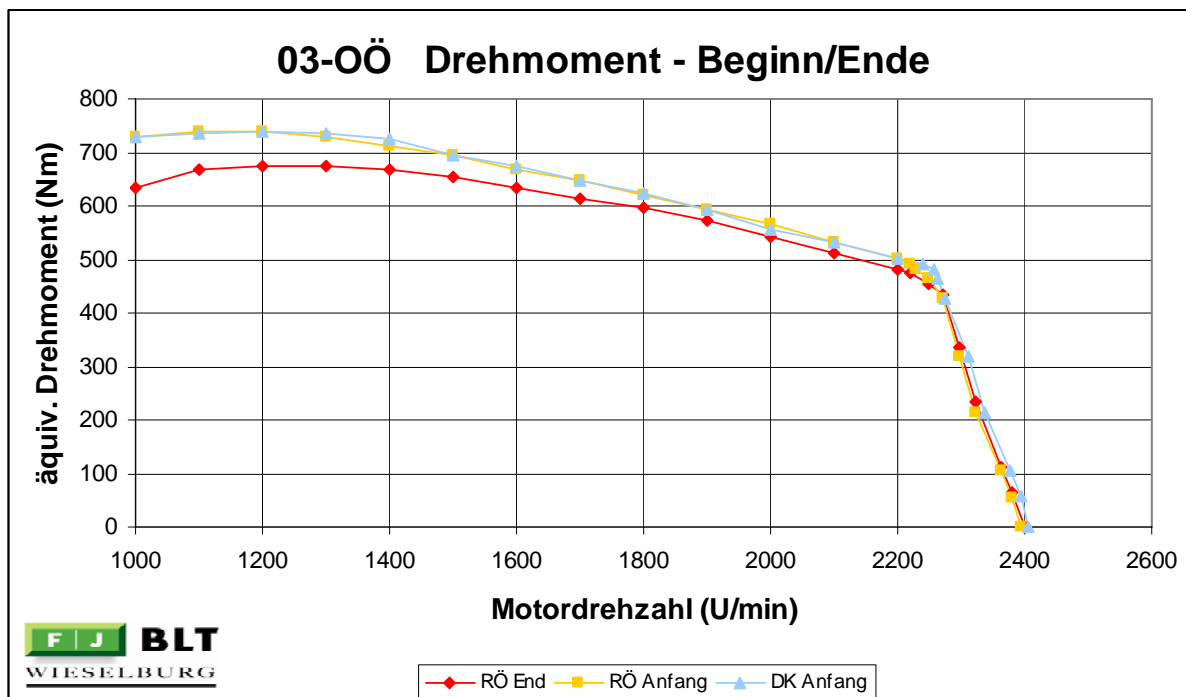


Abbildung 45: 03-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

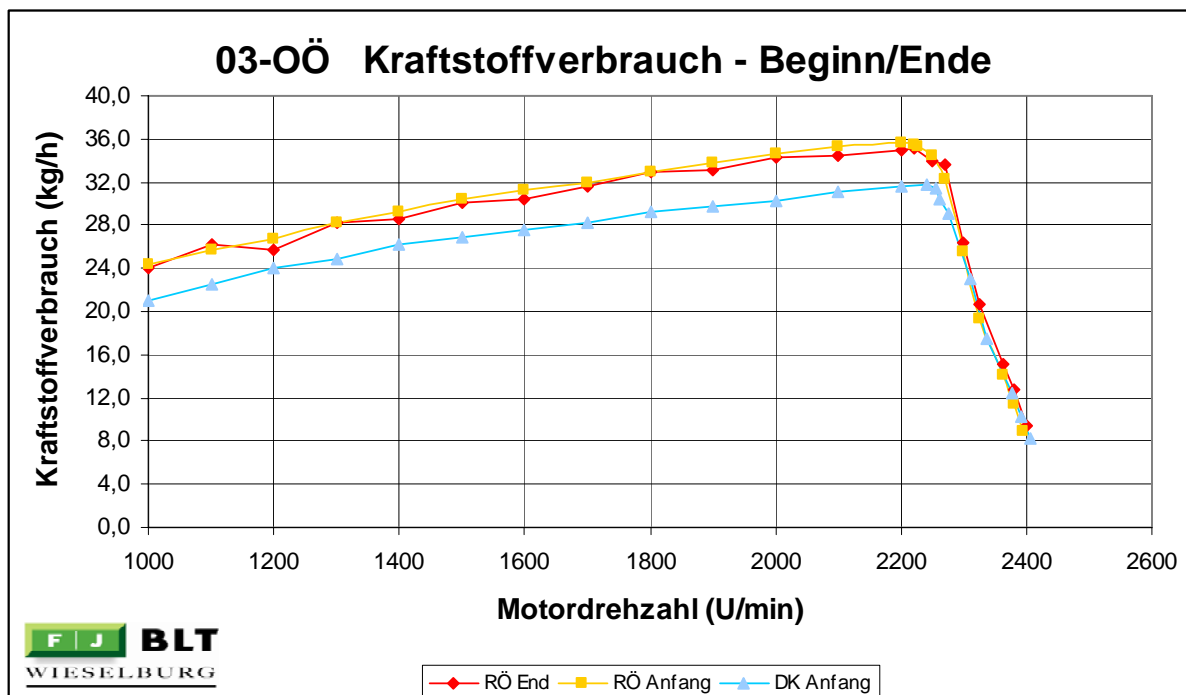


Abbildung 46: 03-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende



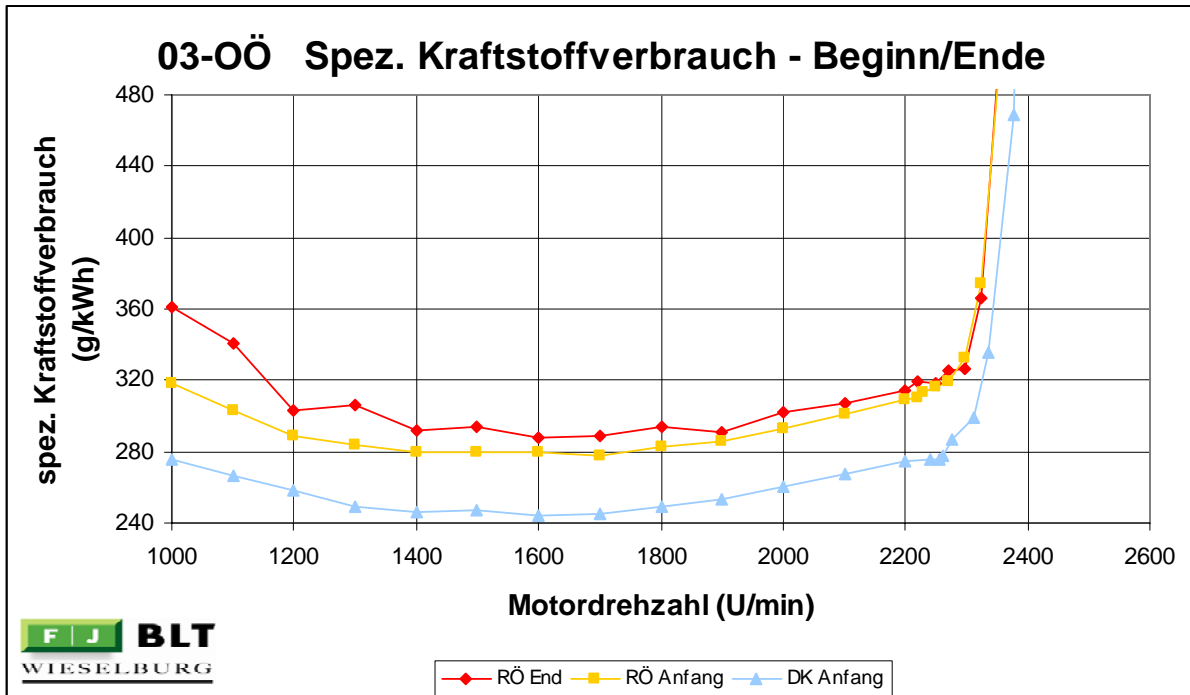


Abbildung 47: 03-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls ermittelt. Nachfolgende Abbildung zeigt die gemessenen Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Bei der Endvermessung konnte ein geringfügiger Anstieg des Blow-by Wertes verzeichnet werden.

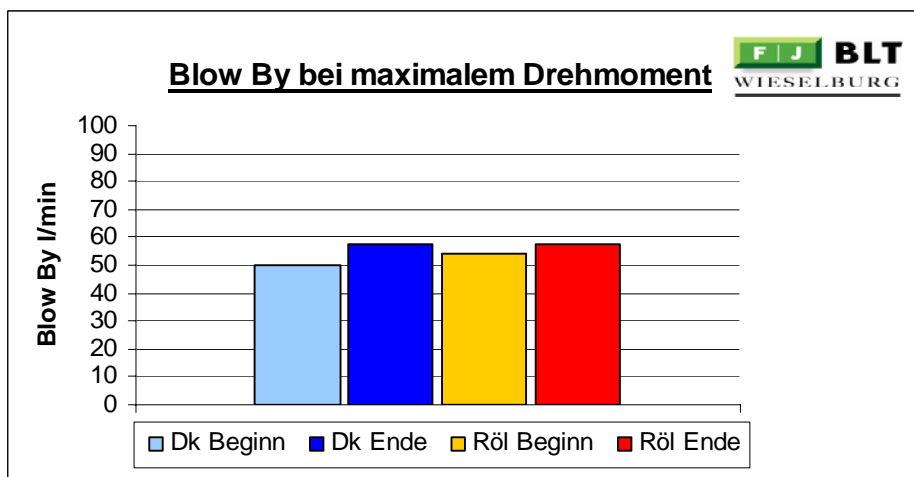


Abbildung 48: 03-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment



## Emissionsmessung

Wie schon berichtet, wurde im Rahmen der Enduntersuchung keine Emissionsmessung durchgeführt. Nachfolgend sind daher die Werte der Anfangsuntersuchung dargestellt. Typischerweise waren die Kohlenwasserstoff- und die Kohlenmonoxidemissionen bei Rapsölbetrieb geringer als bei Dieselbetrieb. Die Stickoxidemissionen hingegen waren bei Dieselbetrieb geringer als bei Rapsöleinsatz. Das entsprach auch dem Mittelwert der sonstigen Messungen.

**Tabelle 9: 03-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn**

	Beginn RÖ	Beginn DK
[g/kWh]	28.10.2004	29.10.2004
CO	3,80	4,17
HC	0,13	0,26
NOx	9,60	9,00

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Universal HD SAE 15W - 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 300 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber beibehalten.

Während der Projektteilnahme wurden 6 Ölwechselintervalle mit einem Mittelwert von 336 TMh untersucht. Von 36 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskositätsmessungen bei 40°C und bei 100°C ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt.

Den Intervallen entsprechend hätten 50 Motorölproben gezogen werden müssen, davon wurden 28% vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangswert. Als tolerierbarer Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

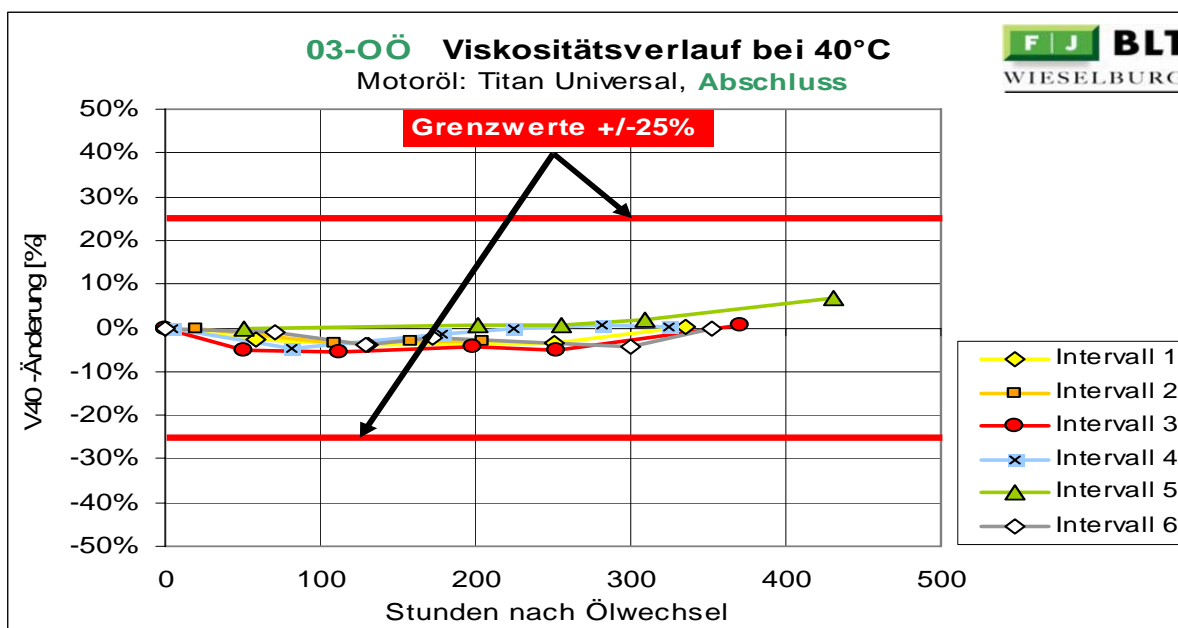


Abbildung 49: 03-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Der Viskositätsverlauf der Motorölproben bei 40°C zeigte eine durchgängig gleichmäßige Trendlinie ohne auffällige Schwankungen. Die größte Abweichung innerhalb eines Wechselintervalls lag bei 7% Zunahme im Intervall 5. Auch die Viskosität bei 100°C zeichnete sich durch einen sehr konstanten Verlauf mit einer maximalen Schwankung von +/- 6% aus.

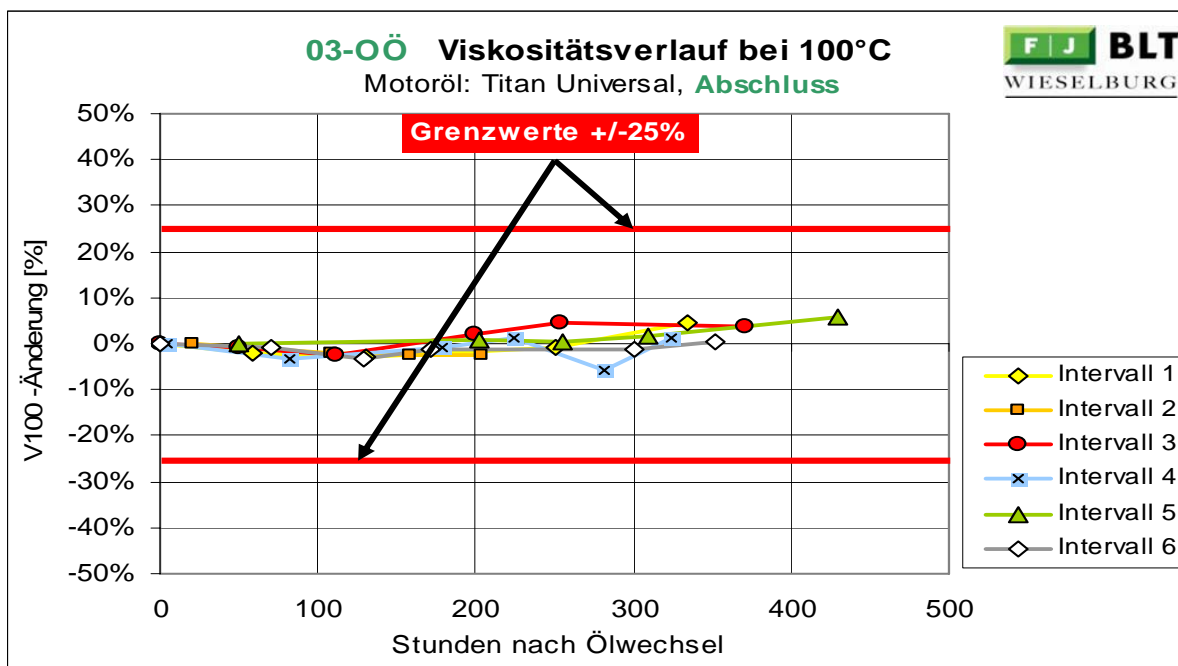


Abbildung 50: 03-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

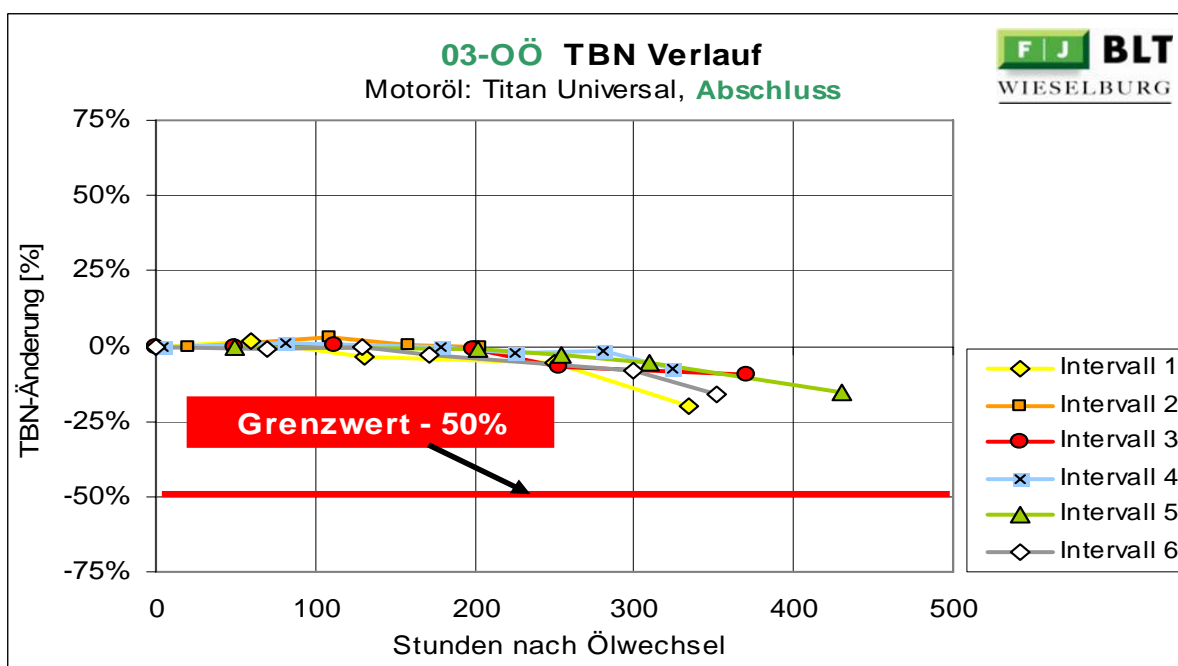


Abbildung 51: 03-OÖ Änderung der Total Base Number



Die maximalen Änderungen der Total Base Number konnten im Intervall 1 mit einer 20%igen Abnahme sowie in den Intervallen 5 und 6 mit einem Abfall von 15% verzeichnet werden. Im Durchschnitt lag die Abnahme der TBN über die Ölwechselintervalle bei ca. 11%. Somit wurde der vorgegebene Grenzwert eines maximalen Abfalls von 50% deutlich eingehalten.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles durch das FJ-BLT Labor wurden 15 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt, sowie auf den Gehalt an Verschleißmetallen überprüft wurden.

Es wurden keine Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Die Gehalte der Verschleißelemente konnten deutlich unter dem Grenzwert von 0,5 mg/Bh gehalten werden.

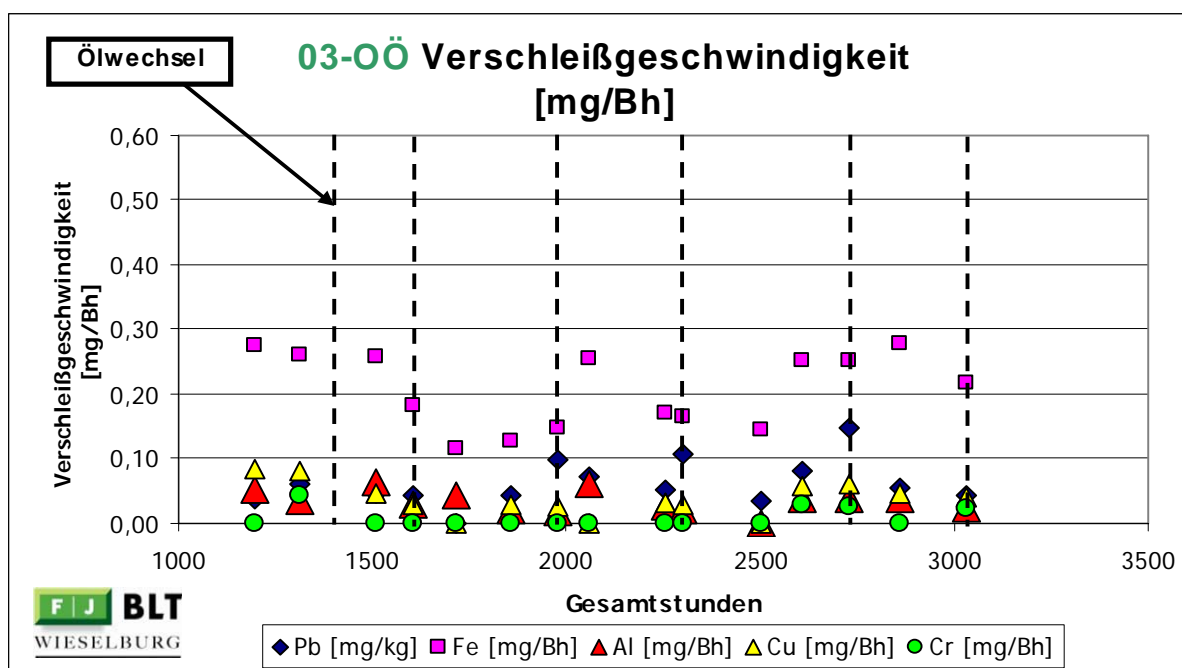


Abbildung 52: 03-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Der Russanteil lag bei den untersuchten Motorölproben deutlich unter 3%. Im Vergleich zu anderen Traktoren war der Rapsölgehalt mit einem maximalen Anteil von 11,6% etwas höher.

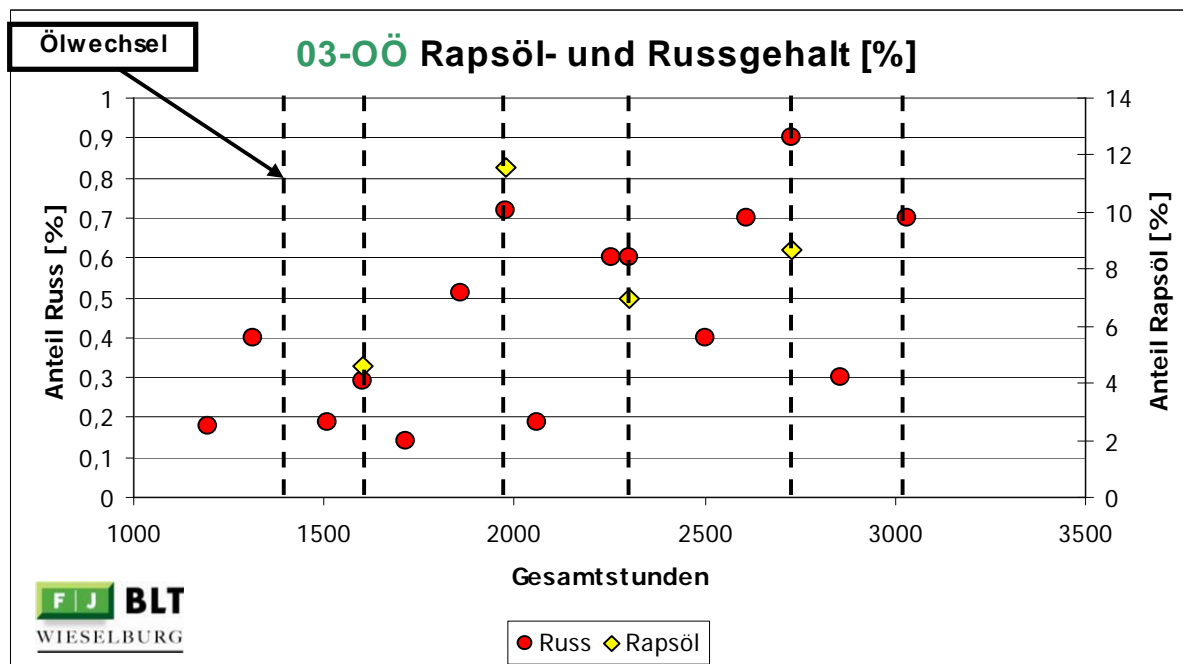


Abbildung 53: 03-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

### Kommentar Fa. Fuchs

Hinsichtlich der Verschleißgeschwindigkeit liegen alle untersuchten Proben unterhalb der festgelegten Grenze von 0,5 mg/Bh. Dennoch kommt es insbesondere bei Blei zu einer erheblichen Überschreitung der vereinbarten Obergrenze von 10 mg/kg. In einigen Fällen wird der Grenzwert um mehr als das dreifache überschritten. Ebenso verhält es sich beim Kupfer, hier wird in einigen Fällen eine Überschreitung des Grenzwertes (10mg/kg) um mehr als das Zweifache festgestellt. Allerdings muss in dieser Betrachtung die unterschiedliche Länge des Ölwechselintervalls berücksichtigt werden. Das längste Intervall ging über 400 Betriebsstunden hinaus. Eine Tendenz ist im Trendverlauf für Eisen und Aluminium durchaus erkennbar, wogegen der Verlauf für Blei, Kupfer und Chrom völlig uneinheitlich ist. Auffällig ist auch, dass der Gehalt an Blei vom ersten bis zum vierten Intervall in der jeweiligen Endprobe zunehmend scheint, wogegen beim fünften Intervall ein erheblicher Rückgang festzustellen ist. Aus dem Traktortagebuch wird ersichtlich, dass gegen Ende des vierten Intervalls ein Problem mit dem Turbolader festgestellt wurde, was die hohen Blei und Kupferwerte erklären würde. Der Anstieg über die Intervalle hinweg ist ein Indiz für einen schleichenden Vorgang.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte aus der Ölmühle Innöl Co KG in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 13 Proben aus dem Lagertank, 10 aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) geforderten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analyseergebnisse der Lagertank- und Traktortankproben dargestellt, wobei rot gefärbte Ergebnisse nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung entsprechen.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Tabelle 10: 03-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
15.06.2004		35,34	36,97	1,53		8,80	0,101
12.08.2004	915	35,36	54,13	1,60	3,50	10,20	0,071
12.09.2005	916	34,60	50,75	1,23	2,08	7,73	0,075
12.12.2005	914	31,61	18,45	0,97	5,27	5,91	0,065
23.03.2006	911	31,23		0,89	5,87	7,20	0,059
24.05.2006	916	32,95		1,74	0,80	6,60	0,086
14.09.2006	917	31,34	13,50	1,07	5,60	6,71	0,062

Grenzwertüberschreitungen bei den Proben aus dem Lagertank gab es mehrfach beim Wassergehalt. Ein hoher Wassergehalt deutet meist auf eine unvorteilhafte Lagerung des Öles hin. Er kann gegebenenfalls auch auf mangelnde Ausgangsqualität der Ölmühle selbst zurückgeführt werden.

Grenzwertüberschreitungen der Gesamtverschmutzung (GV) gab es im Rahmen der analysierten Stichproben ausschließlich in den ersten beiden Jahren des Projektes. Seit Ende 2005 gab es keine Überschreitungen mehr.

Die ebenfalls rot markierten zu niedrigen Werte für den Parameter Oxidationsstabilität korrespondieren in zwei Fällen mit Überschreitungen des Wassergehaltes.

Ansonsten gab es bei den untersuchten Proben aus dem Lagertank keine weiteren Grenzwertüberschreitungen.

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Bei den Proben aus dem Traktortank gab es kaum Grenzwertüberschreitungen. Der Parameter der Gesamtverschmutzung wurde zweimal überschritten, wobei die Überschreitung vom 12.08.2004 auf bereits auf die Probe aus dem Lagertank zurückgeführt werden kann. Die Verbesserungen der übrigen Werte im Vergleich zu den Lagertankproben lassen sich auf den systembedingt beigemischten Anteil an Dieseldieselkraftstoff zurückführen. Dies wird deutlich ersichtlich am Beispiel der ersten Ölprobe, die aus dem Lager gezogen noch eine GV von knapp 37 mg/kg aufwies, aus dem Traktortank mit einer Beimischung von 39% Diesel nur noch eine Verschmutzung von 16 mg/kg.

Tabelle 11: 03-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
15.06.2004		12,64	16,35	1,11	6,80	0,063	
12.08.2004	913	33,17	61,32	1,58	7,10	0,068	2
23.03.2005	900	21,21	9,22	0,87		0,057	19
30.05.2005	904	22,87	7,35	2,23	5,84	0,062	16
15.09.2005	906	25,55	17,55	1,09	7,26	0,057	12
12.12.2005	906	24,08	22,40	0,86	5,47	0,058	14
23.03.2006	918	31,78	33,48	0,97	2,87	0,059	4
24.05.2006	903	22,42	10,23	1,54	5,21	0,066	17
14.09.2006	913	26,99	8,80	0,99	7,36	0,058	10
07.02.2007	909	22,99	20,32	0,79	4,52	0,044	12
01.06.2007	916	32,09	12,60	1,20	5,35	0,070	3

Bei der Neutralisationszahl konnte bis auf eine Überschreitung die geforderte Qualität von maximal 2 mgKOH/g eingehalten werden.





## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc.) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmengen, etc.) angegeben. Die Aufzeichnungen des Traktortagebuches erstrecken sich über einen Zeitraum von 3 Jahren und dokumentieren den Fahrbetrieb von 1.585 Traktormeterstunden. Das Traktortagebuch wurde nicht regelmäßig geführt. Die Auswertung beruhte auf den Angaben von 225 Tagen und ist daher in Bezug auf das Auslastungsprofil nur bedingt aussagekräftig.

Die Tankaufzeichnungen zeigten einen Verbrauch von 12.177 Liter Rapsöl und 4.245 Liter Diesel. Daraus errechnete sich ein durchschnittlicher Verbrauch von 10 Litern je Stunde. Der Dieselanteil betrug bei diesem Traktor mit einer 2-Tank-System Umrüslösung im Mittel bei 26%. Der Einsatzbereich lag zum überwiegenden Teil im hohen Lastbereich.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Deshalb ermöglichen diese Aufzeichnungen eine Beurteilung des Fahrbetriebes und stellen neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis dar.

Nachfolgend sind die Auswertungen der einzelnen Parameter dargestellt.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 03 New Holland TM 150



Allgemeine Daten:

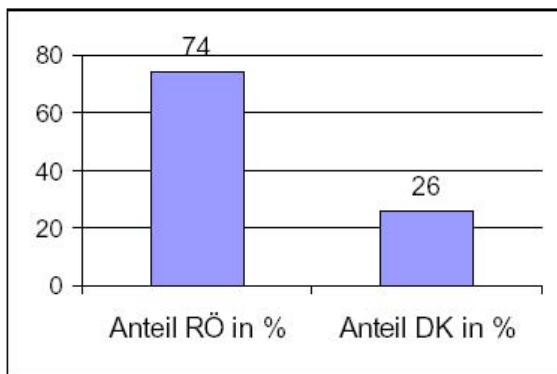
Erster Eintrag: 10. Mai. 04 bei TMh: 1070  
 Letzter Eintrag 18. Mai. 07 bei TMh: 2655,0 TMh lt. Traktortagebuch **1585,0**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 225

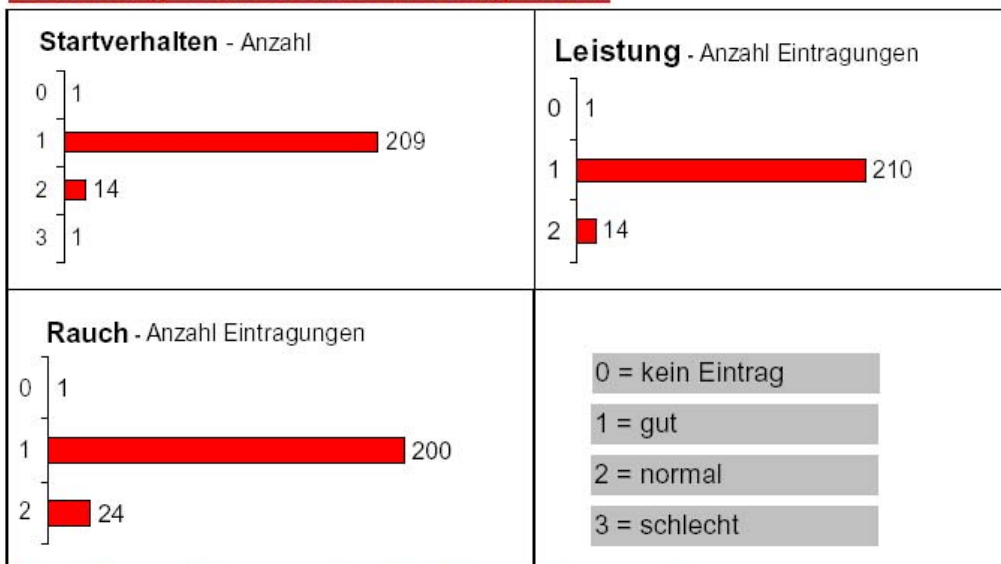
Tankmengen:

Diesel in l: 4245  
 Rapsöl in l: 12177

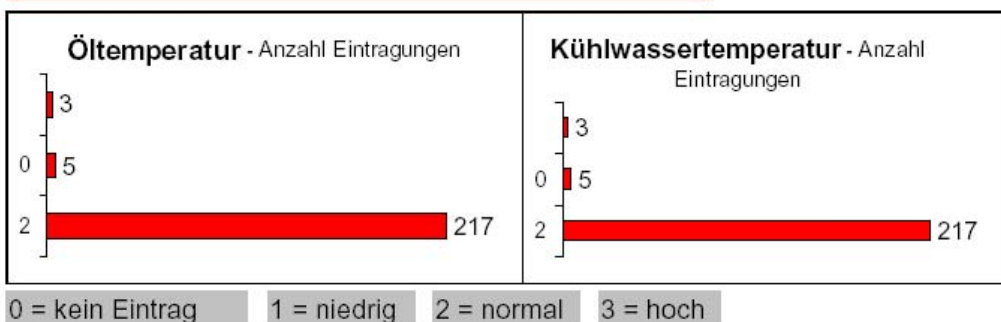
durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**10,36**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



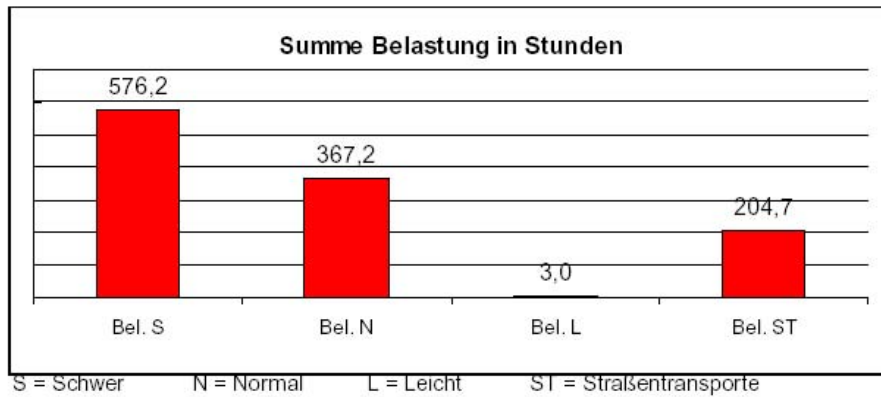


Traktortagebuch

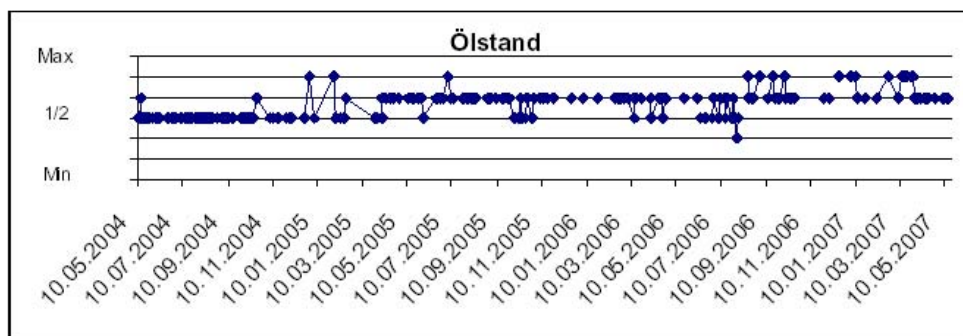
Fahrzeug: 03 New Holland TM 150



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Düsenöffnungsdruck und das Spritzbild der Düsen gemessen bzw. überprüft. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuerstegbereich, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende eine Erhöhung des Druckes. Ein anderes Bild ergab die Druckverlustmessung des Brennraumes. Zylinder 3 zeigte einen Druckverlust in das Kurbelgehäuse, Zylinder 4 und Zylinder 6 wiesen Verluste über die Ventile auf.

**Tabelle 12: 03-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	30	35		12	260	250	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	30	34		26	255	230	i.O.	defekt	Düse 2
Zylinder 3	30	33		58	260	235	i.O.	defekt	Düse 3
Zylinder 4	30	34		40	260	220	i.O.	defekt	Düse 4
Zylinder 5	32	34		18	280	240	tropft	defekt	Düse 5
Zylinder 6	32	36		62	285	240	i.O.	defekt	Düse 6

i.O.....in Ordnung

Die Einspritzdüsen waren bei der Enduntersuchung mit Ausnahme der Düse von Zylinder 1 allesamt defekt. Die Düsen konnten den Druck nicht mehr halten und den Einspritzstrahl nicht zerstäuben. Auch das typische Knarrgeräusch fehlte. Der Schaftbereich der Düsen war teilweise mit einer Belagkruste versehen. Die Düsenspitzen waren ebenfalls verkrustet, die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 54: 03-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Der Zylinderkopf war mit einem dünnen, feucht glänzenden, Belag versehen.

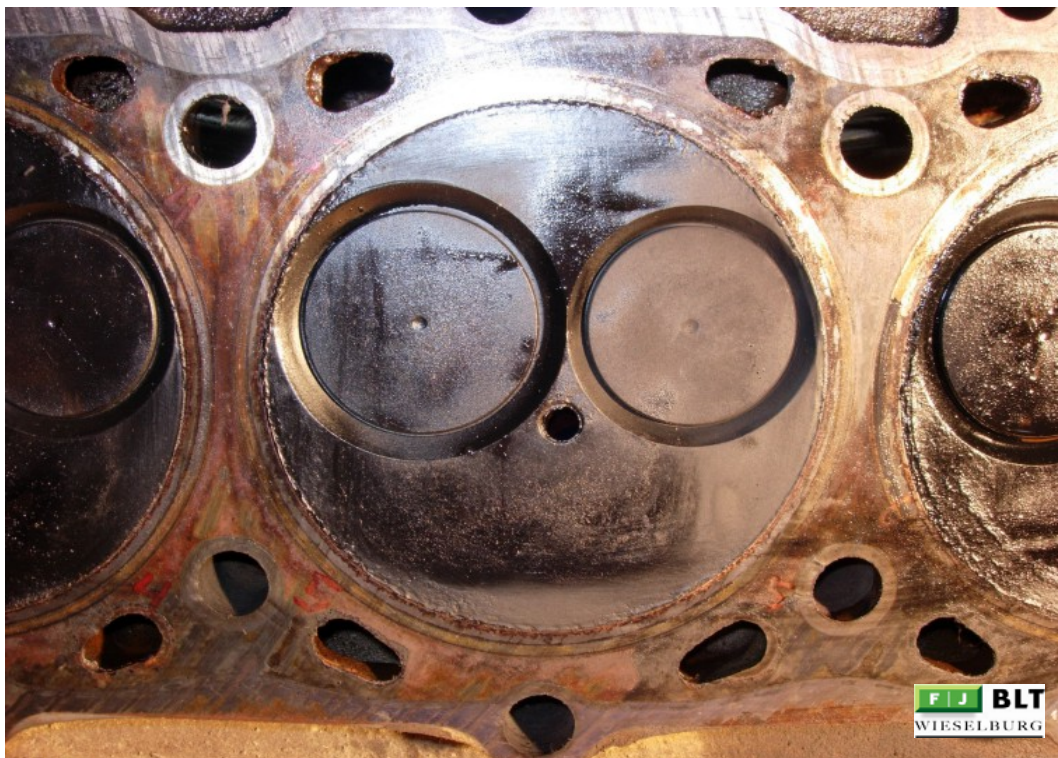


Abbildung 55: 03-OÖ Zylinderkopf



**Abbildung 56: 03-OÖ Einlass- und Auslassventil**

Die Einlassventile wiesen am Übergang vom Ventilteller zum Schaft einen krustenartigen schwarzen Belag auf, wobei die Belagstärke eher gering war. Keine Verkrustungen wiesen die Auslassventile auf, diese waren lediglich geschwärzt. Die Ventilsitze machten trotz Druckverlust von Zylinder 4 und 6 einen optisch unauffälligen Eindruck.

Der Feuerstegbereich wies eine schwarze Belagkruste auf und war bei allen Zylindern klar abgegrenzt. Die Honspuren waren bei allen Laufbüchsen deutlich sichtbar. Es konnte eine der Laufzeit entsprechende geringe Spiegelbildung festgestellt werden.

Der Kolbenboden war mit einem dünnen schwarzen Belag versehen. Eine Verkrustung konnte nicht festgestellt werden.

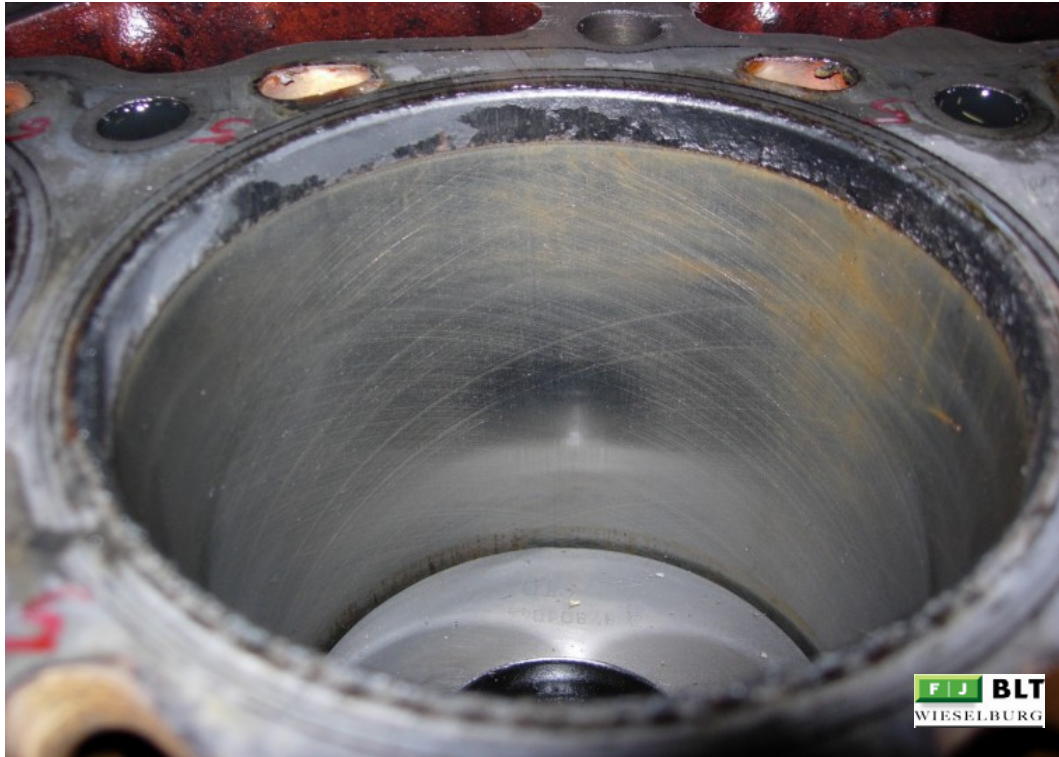


Abbildung 57: 03-OÖ Zylinderlaufbüchse



Abbildung 58: 03-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor New Holland TM 150 wurde im Juli 2004 bei einer bisherigen Einsatzdauer von 1.065 Traktormeterstunden von der Firma Graml mit einem so genannten Bioka 2-Tank Kraftstoffmanagement System umgerüstet. Insgesamt wurde der Traktor 2.159 Traktormeterstunden mit diesem System betrieben. Aufgrund einer Fehlbedienung musste während des Versuchszeitraumes die Kraftstoffvorwärmtemperatur neu eingestellt werden. Sonstige Störungen sind nicht bekannt.

Die Leistungsmessung zeigte einen identischen Verlauf von Diesel- und Rapsölbetrieb.

Der Traktor wies hinsichtlich der Emissionen die höchsten Konzentrationen an Kohlenmonoxid auf – mit ca. 4 g/kWh bei beiden Kraftstoffen wurde der Mittelwert von ca. 1,50 g/kWh deutlich überschritten. Die Anteile von Kohlenwasserstoff und Stickoxid bewegten sich im Mittelwertbereich. Die Konzentrationen von Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Betrieb mit Rapsöl geringer; die Stickoxidemissionen waren typischerweise etwas höher.

Die Analysenergebnisse des Motoröles lagen im Normalbereich. Es gab keine Grenzwertüberschreitungen bei den Verschleißelementen bzw. dem Russ und Rapsöleintrag. Auch die Viskositäten und die Total Base Number verliefen über die Ölwechselintervalle sehr konstant und deutlich innerhalb der vorgegebenen Grenzen.

Zu Beginn des Projektes gab es hinsichtlich der Rapsölqualität fallweise Überschreitungen des Grenzwertes der Gesamtverschmutzung bei den Proben aus der Ölmühle. Analog wiesen die Proben aus dem Lagertank bis Ende 2005 Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der GV auf. Weiters wurde der Wassergehalt immer wieder überschritten, was mit ein Indiz für eine unvorteilhafte Lagerung oder eines bereits in der Ölmühle erhöhten Wassergehaltes wäre.

Kaum Grenzwertüberschreitungen gab es bei den Proben aus dem Traktortank. Insgesamt verbesserten sich die Werte im Vergleich zu den Lagertankproben, was





durch einen erhöhten Anteil von Dieselkraftstoff erklärt werden konnte. Dies konnte deutlich bei der Gesamtverschmutzung beobachtet werden.

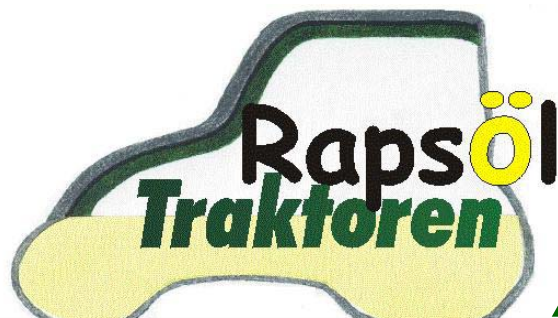
Bei der abschließenden Motoruntersuchung wurden defekte Einspritzdüsen diagnostiziert. Weiters wurde ein geringer Druckverlust im Brennraum von Zylinder 3, 4 und 6 beobachtet. Hinsichtlich Verschleiß oder Ablagerungen im Brennraum wurden keine Mängel festgestellt.





04-OÖ

04-OÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt Vario 411</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Mai 2004</b>
<b>Umrüslösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.379 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt Vario 411
<b>Motortype</b>	BF4M2013C
<b>Erstmalige Zulassung</b>	12.04.2001
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	00603819
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Öfüllmenge</b>	11 Liter
<b>Nennleistung</b>	74 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2100 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	3800 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	98 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	18,5 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch
<b>Einspritzdruck</b>	250 bar
<b>Kraftstofftank</b>	165 Liter
<b>Eigengewicht</b>	4.950 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Juli 2004
<b>bei TMh</b>	1.922
<b>Enduntersuchung</b>	Dezember 2007
<b>bei TMh</b>	4.301

### Umrüstung

<b>Umrüstsysteem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Graml

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgend sind die Diagramme dargestellt, wobei jeweils die Werte von Diesel und von Rapsöl der Anfangsuntersuchung jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt wurden. Die Anfangsvermessung zeigte bei Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff und mit Rapsöl nahezu gleiche Leistungskennlinien. Der Kraftstoffverbrauch lag bei Rapsölbetrieb jedoch etwas höher. Bei der Endvermessung konnte sowohl im Diesel- als auch im Rapsölbetrieb ein Leistungsverlust von ca. 10 kW beobachtet werden.

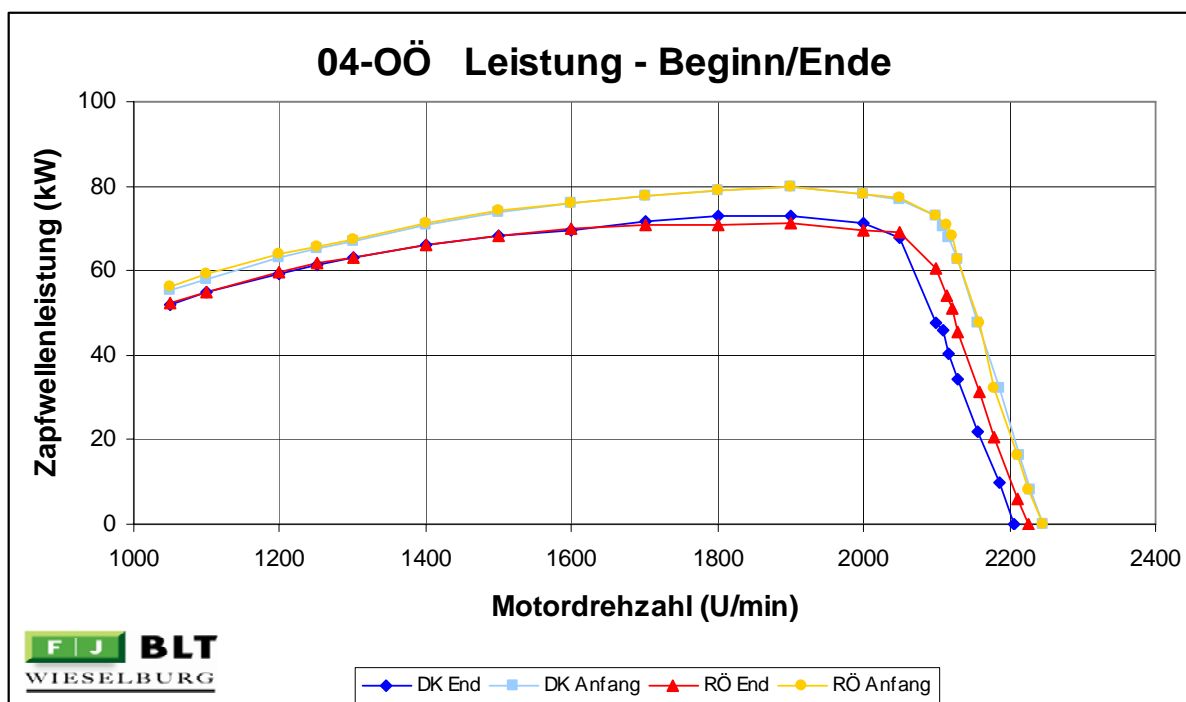


Abbildung 59: 04-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

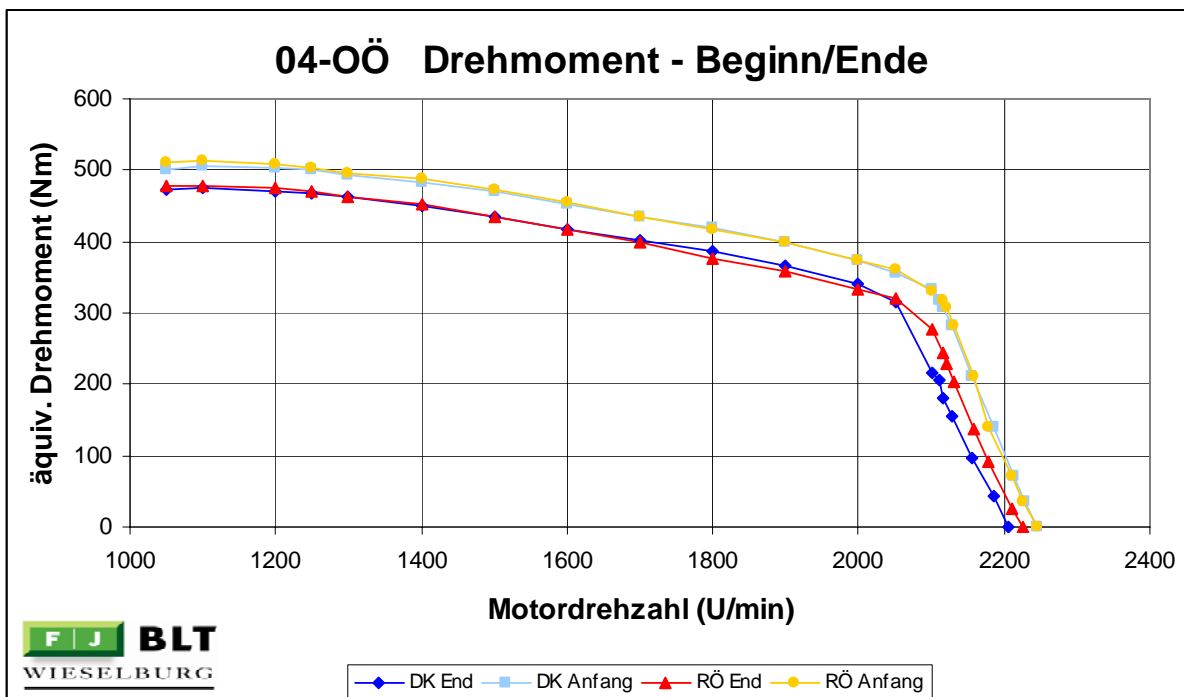


Abbildung 60: 04-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

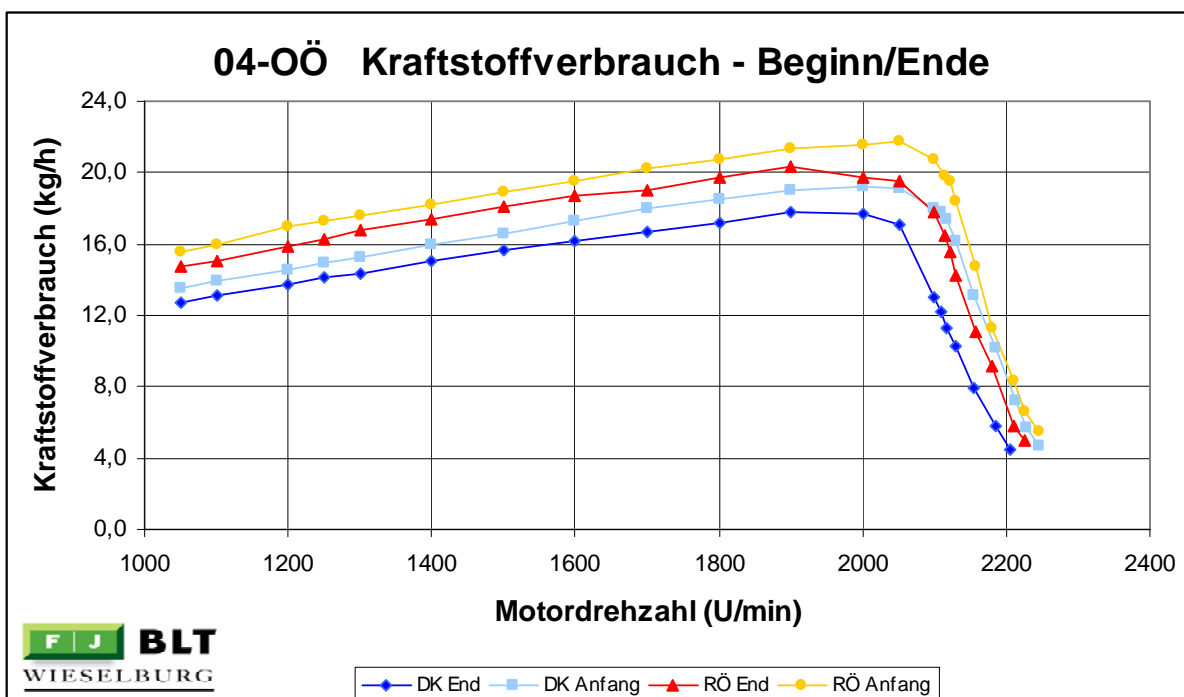


Abbildung 61: 04-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

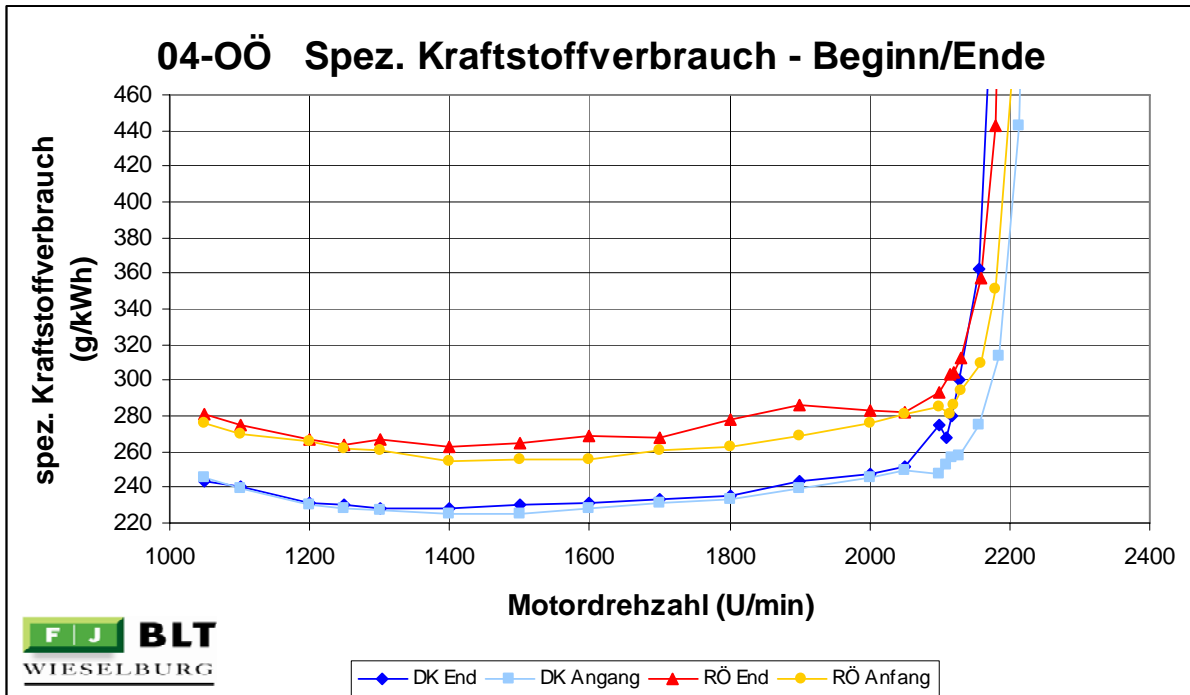


Abbildung 62: 04-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die gemessenen Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment.

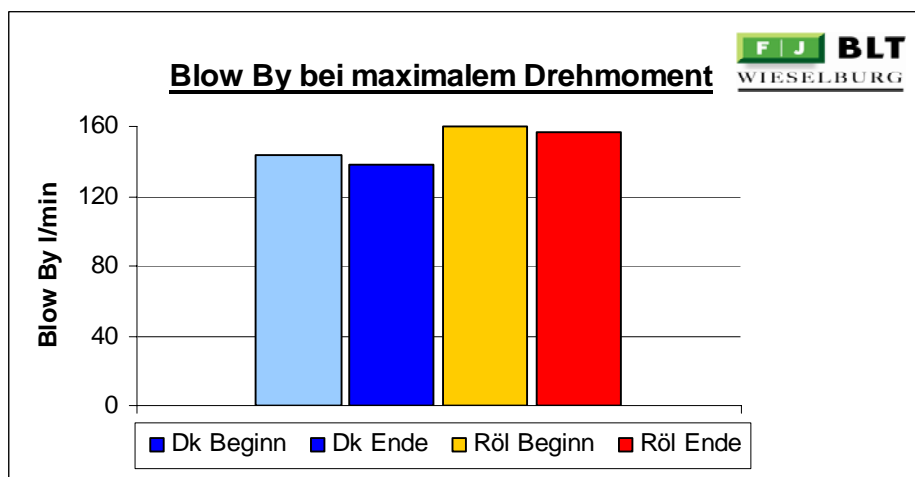


Abbildung 63: 04-OÖ Blow By bei maximalem Drehmoment

Bei der Endvermessung konnte ein geringfügiges Absinken des Blow-by Wertes bei beiden Kraftstoffen beobachtet werden.



## Emissionsmessung

Die bei der Anfangsuntersuchung gemessenen Emissionswerte waren bei Kohlenmonoxid und bei den Kohlenwasserstoffen im Rapsölbetrieb deutlich unter jenen bei Dieselbetrieb. Typischerweise waren die Stickoxidemissionen auch in diesem Fall bei Rapsöl höher als bei Diesel. Aufgrund eines Defektes der Elektronik (Hauptplatine) zum Zeitpunkt der Anlieferung am Motorenprüfstand des FJ-BLT konnten im Zuge der Enduntersuchung keine Emissionsmessungen durchgeführt werden.

**Tabelle 13: 04-OÖ Gasförmige Emissionen Rapsöl/Diesel Beginn**

	Beginn RÖ	Anfang DK
[g/kWh]	11.11.2004	11.11.2004
CO	1,43	2,42
HC	0,10	0,31
NOx	11,42	8,87



## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W - 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte können laut Empfehlung des Umrüsters beibehalten werden.

Während der Projektlaufzeit wurden vier Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 462 TMh, sowie ein Intervall mit 380 TMh mit Rapsölbetrieb untersucht. Von 44 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskosität bei 40°C und bei 100°C gemessen und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt wurden 32% der alle 50 TMh geplanten Proben vom Betreiber nicht gezogen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangswert. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

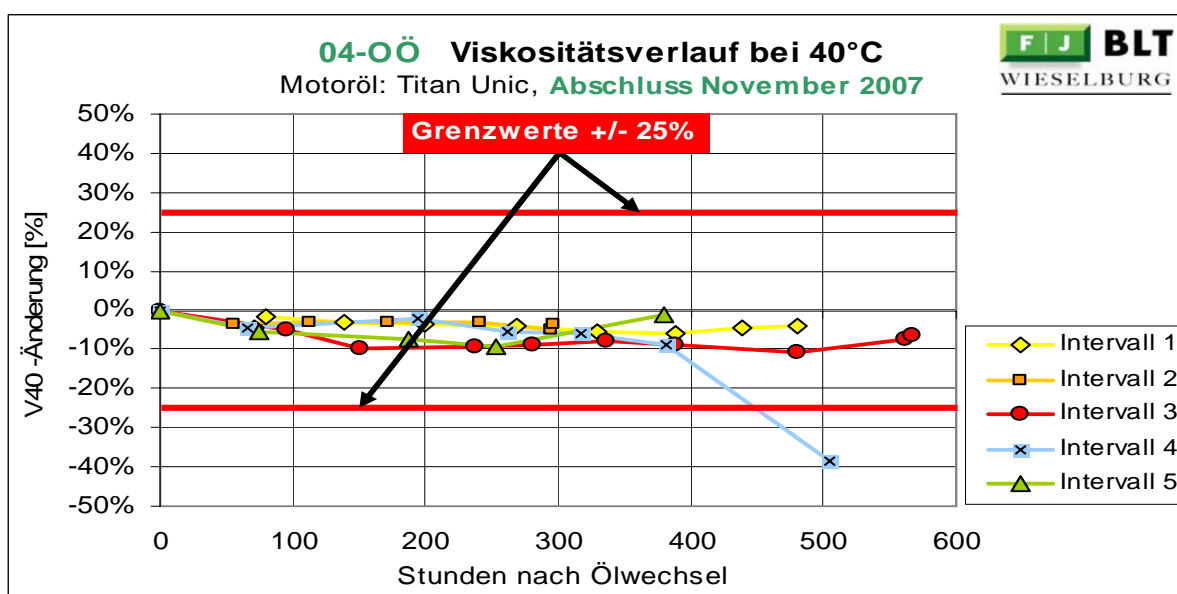
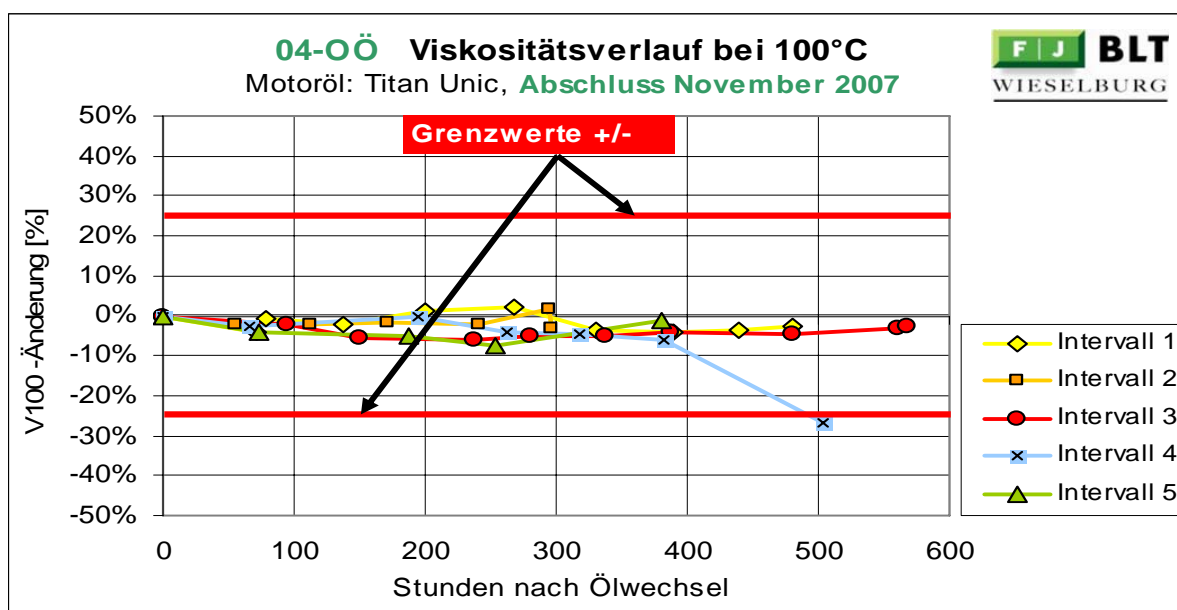


Abbildung 64: 04-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Mit Ausnahme des Intervalls 4 wurde ein ziemlich homogener Viskositätsverlauf festgestellt. Das Intervall 4 verzeichnete einen Abfall von über 38% bei der Altölprobe bezogen auf die 5-min-Probe. Gerade bei diesem Intervall wurde zwischen 380 und 500 Betriebsstunden keine Ölprobe gezogen, ansonsten wäre vermutlich ein früherer Ölwechsel empfohlen worden. Der von der Firma Fuchs angegebene Grenzwert wurde somit um 13% überschritten. Aus den ebenfalls analysierten Gehalten an Verschleißelementen bzw. Anteilen von Russ und Rapsöl im Motoröl ließen sich auf diesen Abfall keine Rückschlüsse ziehen. Vermutlich wurde der Traktor in einem verhältnismäßig schwerem Lastbetrieb gefahren, wobei das Wechselintervall demnach auch entsprechend verkürzt werden sollte. Die restlichen Analysenwerte lagen innerhalb der vom Motorölhersteller empfohlenen Grenzen. Analog zu den Ergebnissen bei 40°C verliefen auch jene bei 100°C.



**Abbildung 65: 04-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C**

Die TBN sank im Schnitt über die Ölwechselintervalle um ca. 19%. Ausnahme hiervon war das Intervall 2, das aufgrund der verkürzten Motoröleinsatzdauer bis zur Ölwechselprobe lediglich einen Abfall von 6% erreichte. Es konnte bei allen Intervallen der vorgegebene Grenzwert von maximal 50 % TBN-Abfall eingehalten werden.

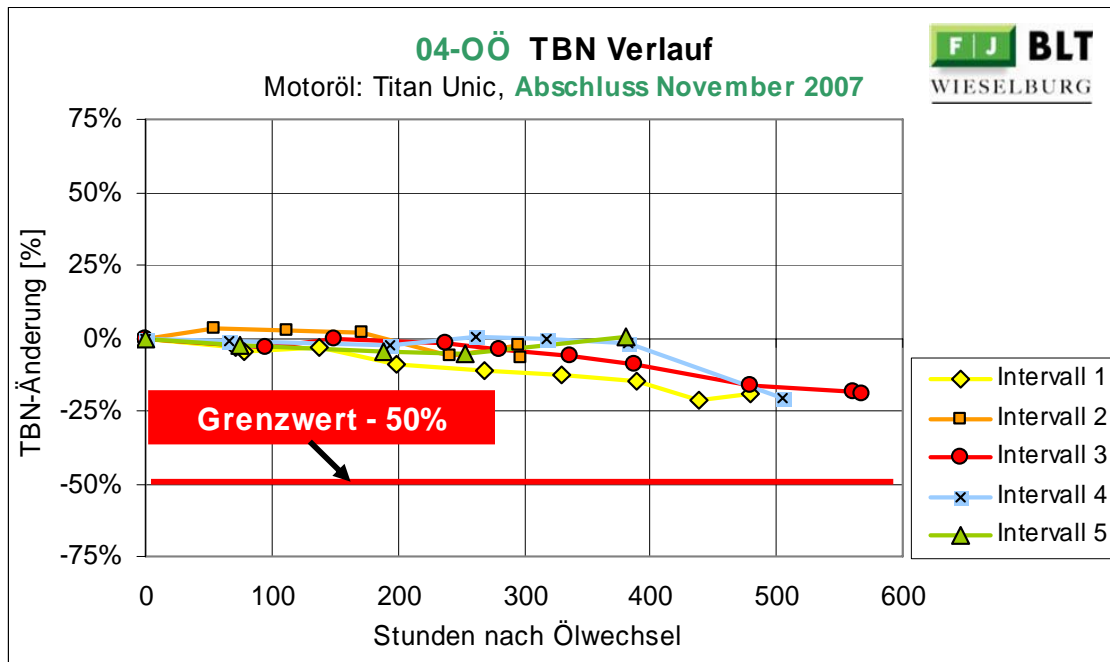


Abbildung 66: 04-OÖ Änderung der Total Base Number

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors wurden 17 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH in Mannheim gesandt, wo eine Überprüfung des Russ- und Rapsölgehaltes sowie der Gehalte der Verschleißmetalle erfolgte. Es wurden keine auffälligen Schwankungen festgestellt. Die Gehalte an den Verschleißelementen Blei, Eisen, Aluminium, Kupfer und Chrom lagen deutlich unter dem Grenzwert von 0,5 mg/Bh Verschleißgeschwindigkeit.

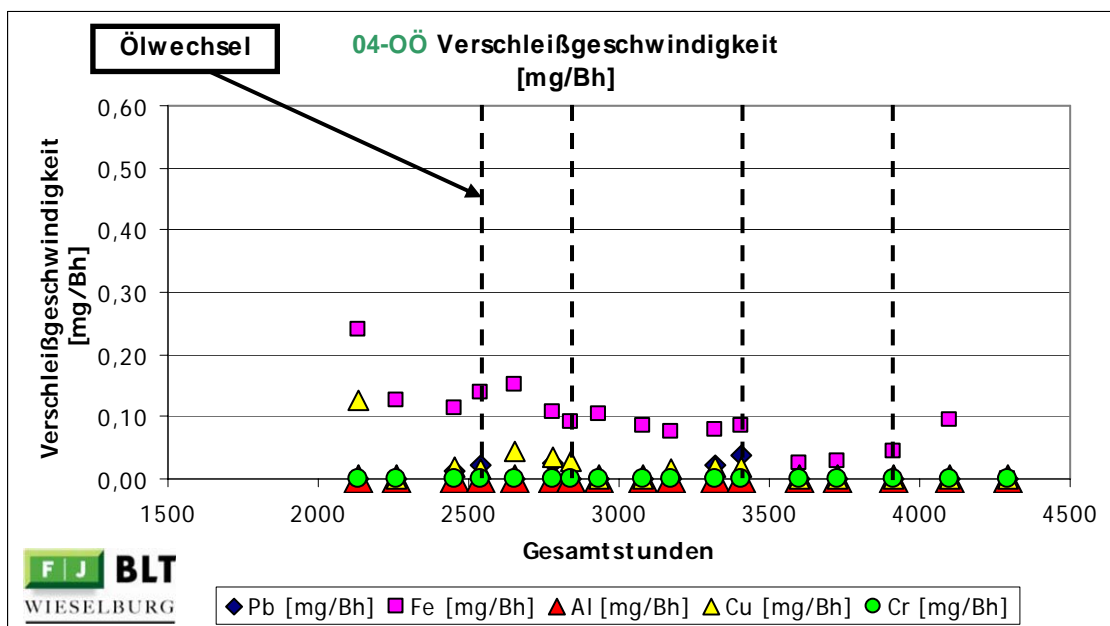


Abbildung 67: 04-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Der Rapsölgehalt lag im Durchschnitt bei 8,5% bei den Ölwechselproben, der Russanteil bei 0,3%. Diese Werte lagen deutlich unter den von der Firma Fuchs vorgegebenen Richtwerten von maximal 15% Rapsöleintrag bzw. 3% Russgehalt.

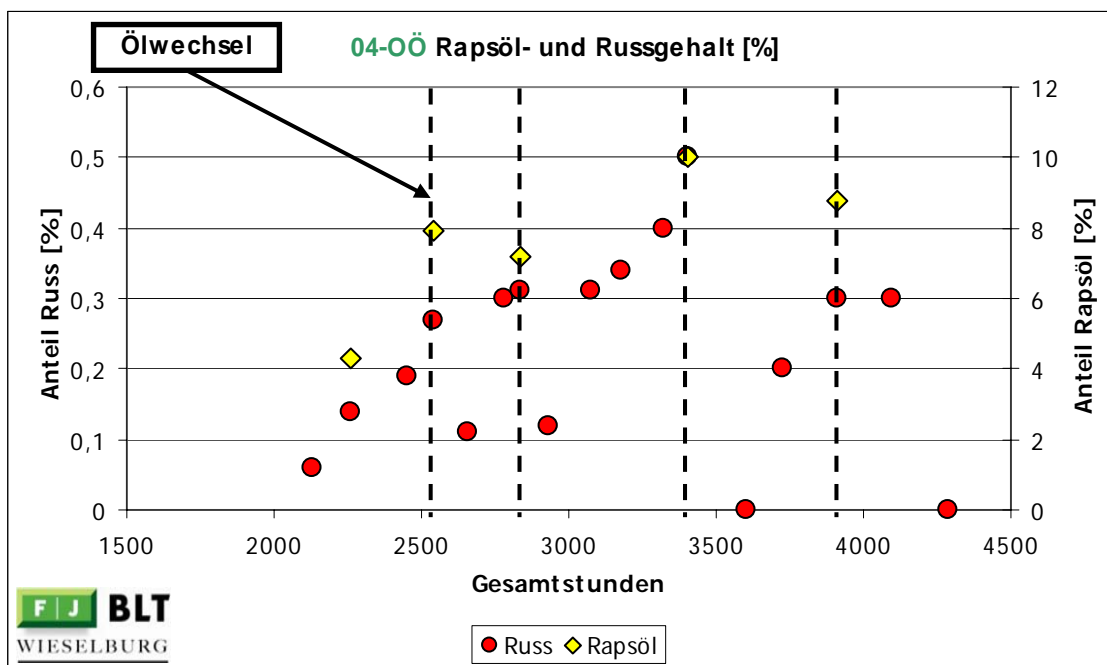


Abbildung 68: 04-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

**Kommentar Fa. Fuchs**

Die Verschleißgeschwindigkeit der Elemente Blei, Eisen, Kupfer und Chrom lagen deutlich unter der vereinbarten Obergrenze von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde, dennoch wird der festgelegte Grenzwert für Blei von 10 Milligramm je Kilogramm gegen Ende des Intervalls in einigen Fällen überschritten. Ansonsten sind die physikalisch-chemischen Parameter als unkritisch anzusehen. Bei einer Probe wurde ein erheblicher Abfall der Viskosität gemessen, der aber in der Gesamtbetrachtung nicht schlüssig zu anderen gemessenen Parametern wie dem Kraftstoffeintrag passt. Über die Ursache kann nur spekuliert werden, sodass diese Messwerte als Ausreißer gewertet wurden.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl Co KG in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 13 Proben aus dem Lagertank, 10 aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBI II 417/2004) geforderten Grenzwerten verglichen. Nachfolgend sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprachen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Tabelle 14: 04-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
09.06.2004		35,30	34,47	1,68	5,95	10,00	0,082
17.09.2004	918	34,94	51,80	1,26	2,98	6,69	0,073
17.09.2004	918	35,00	51,80	1,32	5,40	7,75	0,075
16.02.2005	917	34,47	12,05	0,96		5,52	0,063
22.09.2005	917	34,75	31,03	0,95	4,58	7,32	0,070
01.12.2005	915	34,68	39,87	1,00	5,37	5,58	0,073
27.02.2006	916	34,52	12,80	1,70	1,65	6,96	0,075
18.05.2006	918	34,62	12,13	1,77	1,62	4,61	0,089
29.11.2006	920	34,57	10,90	0,76		5,59	0,055
01.03.2007	915	29,96	14,25	0,67		3,33	0,047
11.05.2007	918	35,28	25,70	0,82	4,72	3,04	0,063
20.09.2007	919		6,34	0,81		2,78	0,052
12.10.2007	920	37,20	13,44	0,73	7,44	5,27	0,073
11.01.2008	920	35,37	11,40	0,81	7,01	4,08	0,083

Grenzwertüberschreitungen gab es mehrmals bei der Gesamtverschmutzung, bei der Oxidationsstabilität sowie beim Wassergehalt.

Die Grenzwertüberschreitungen der Gesamtverschmutzungen traten gehäuft in den Jahren 2004 und 2005 auf. Dies war teilweise auf die von der Ölmühle noch nicht erreichte erforderliche Qualität zurückzuführen. Ab 2006 gab es mit einer Ausnahme keine Überschreitungen mehr bei diesem Parameter.

Durchgängig konnten Überschreitungen bezüglich des Wassergehaltes bis 2006 festgestellt werden. Dies deutete auf eine unvorteilhafte Lagerung hin.

Hinsichtlich der übrigen untersuchten Parameter gab es keine Überschreitungen während der gesamten Projektlaufzeit.

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Bei den Proben aus dem Traktortank gab es Überschreitungen bei der Gesamtverschmutzung, der Neutralisationszahl, dem Wassergehalt.

Die Überschreitungen des Toleranzbereiches der Dichte sind auf einen höheren Dieselanteil zurückzuführen, welcher durch Spülvorgänge und als Lecköl bei Dieselbetrieb systembedingt in den Rapsöltank gelangt. Der Dieselanteil beträgt bei den analysierten Proben bis zu 46%.

Tabelle 15: 04-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
16.02.2005	873	10,43	15,52	0,54	3,01	0,027	46
30.05.2005	905	22,74	9,12	2,70	5,33	0,074	17
22.09.2005	911	29,61	20,95	0,90	6,94	0,068	7
01.12.2005	906	26,29	36,60	0,91	5,74	0,076	11
27.02.2006	886	14,32	16,78	0,71	3,11	0,045	34
18.05.2006	912	28,27	14,03	1,58	4,69	0,092	8
29.11.2006	907	21,14	10,80	0,74	6,85	0,049	19
01.03.2007	884	11,13	9,75	0,47	0,87	0,032	44
01.06.2007	890	13,37	10,88	0,68	3,16	0,053	37
20.09.2007	912		4,60	0,75	4,48	0,045	7
11.01.2008	897	17,10	14,54	0,61	2,69	0,063	25

Die Verbesserung der Werte der Gesamtverschmutzung und des Wassergehaltes im Vergleich zu den Lagertankproben ließen sich durch den entsprechenden Dieselanteil (Verdünnung) begründen.



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc.) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmengen, etc.) angegeben. Der Traktor wurde laut den Eintragungen des Traktortagebuches drei Jahre mit Rapsöl betrieben. Die Formularblätter dokumentieren den Einsatz während 2.092 Traktormeterstunden.

Die Tankeintragungen zeigten einen Verbrauch von 15.760 Liter Rapsöl und 3.072 Liter Diesel. Der Dieselanteil lag bei diesem Traktor mit 2-Tank-System Umrüttlösung im Mittel bei 16%. Der Einsatz erfolgte zum überwiegenden Teil im hohen Lastbereich. Das Traktortagebuch wurde nicht lückenlos geführt, die Auswertungen beruhen auf 225 Formularblättern.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Diese Aufzeichnungen stellten neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis für die Beurteilung des Fahrbetriebes dar.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 04 Fendt Vario 411



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 04. Jun. 04 bei TMh: 1998  
 Letzter Eintrag 19. Sep. 07 bei TMh: 4090,0 TMh lt. Traktortagebuch **2092,0**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 225

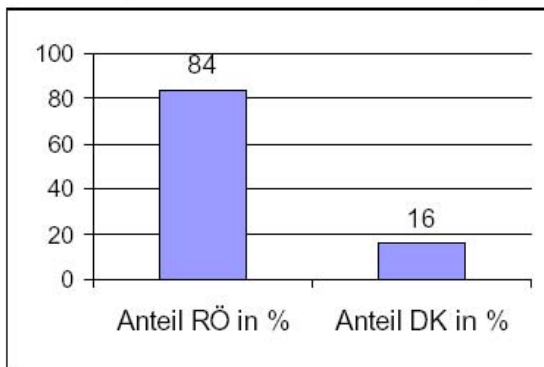
Tankmengen:

Diesel in l: 3072

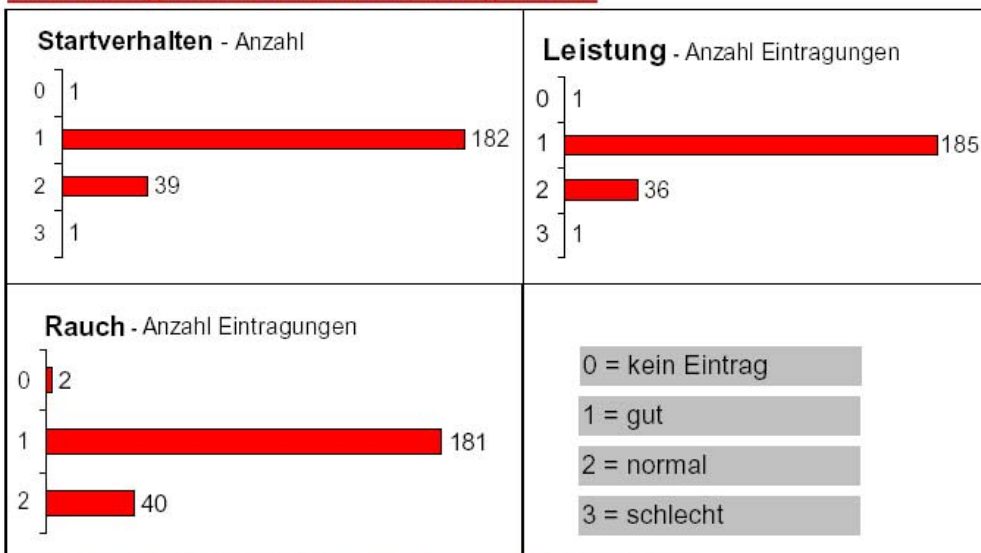
Rapsöl in l: 15760

duchschnittlicher Verbrauch/h:

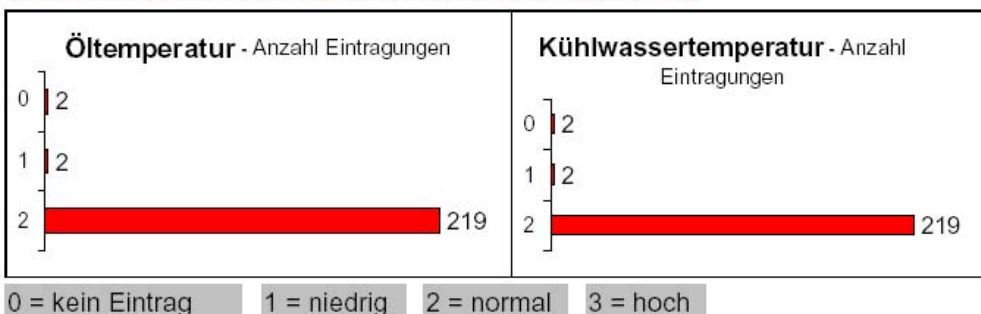
**9,00**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur





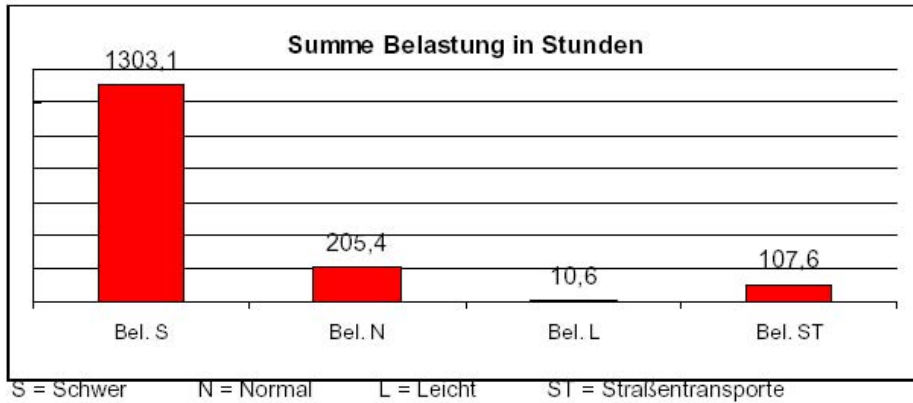


Traktortagebuch

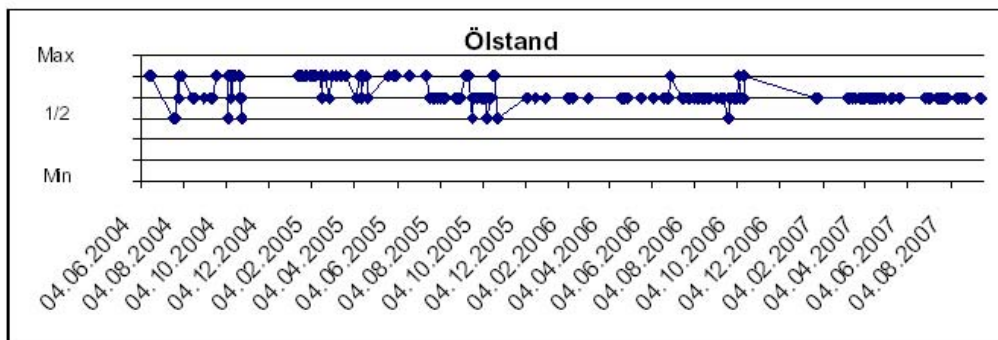
Fahrzeug: 04 Fendt Vario 411



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Düsenöffnungsdruck und das Spritzbild der Düsen gemessen bzw. überprüft. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Tabelle 16: 04-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation

	Kompression		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	30	28	24	16	235	235	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	30	28	32	8	230	230	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	30	30	24	12	235	235	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	28	31	40	9	225	230	*)	i.O.	Düse 4

i.O.....in Ordnung

\*) Düse 4 grenzwertig aber noch akzeptabel

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende einen geringen Abfall des Druckes. Die Werte der Druckverlustmessung des Brennraumes verbesserten sich. Beim Vergleich des Düsenöffnungsdruckes war kaum eine Änderung festzustellen.

Die Düsenhäufte sowie die Düsen spitzen wiesen eine leichte Verkrustung auf. Die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 69: 04-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Am Zylinderkopf konnte ein dünner schwarzer feuchter Belag festgestellt werden.

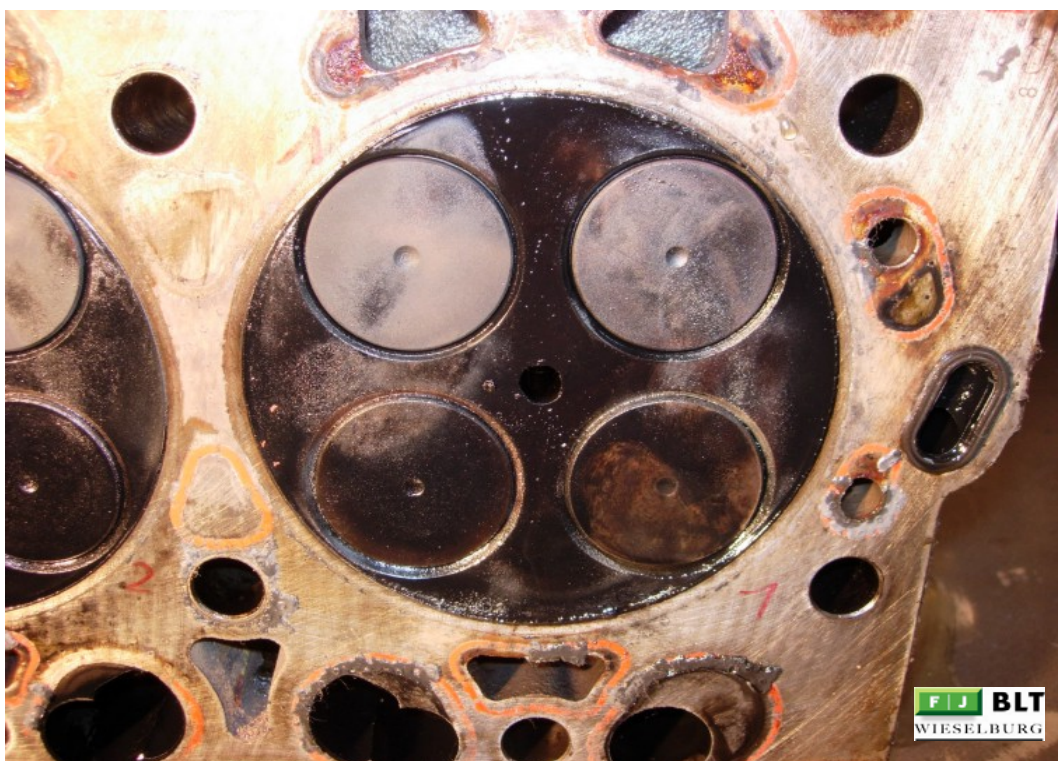


Abbildung 70: 04-OÖ Zylinderkopf

Die Einlassventile waren mit einem geringen krustenartigen Belag am Übergang vom Ventilteller zum Schaftbereich versehen. An den Auslassventilen wurde kein Belag festgestellt, die Ventile waren lediglich geschwärzt.



Abbildung 71: 04-OÖ Einlassventile

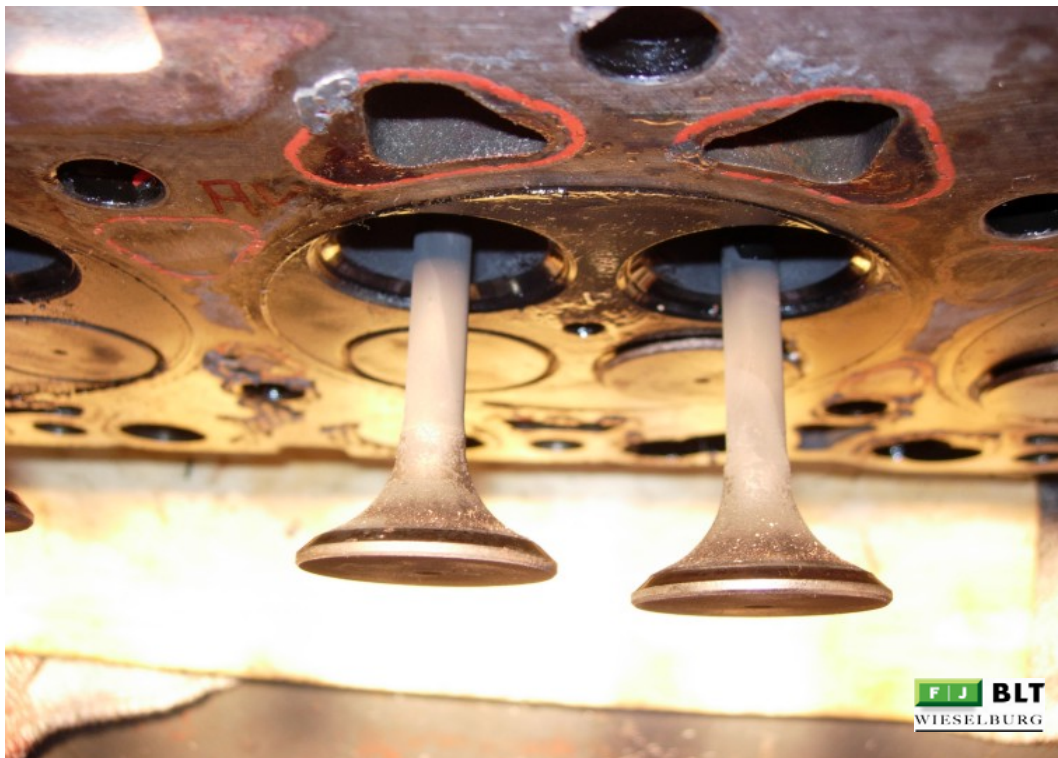


Abbildung 72: 04-OÖ Auslassventile

Bei allen vier Zylindern war der Feuersteg scharf abgegrenzt, im Feuerstegbereich konnte ein dünner schwarzer krustenartiger Belag festgestellt werden. Zylinder Nr. 1 wies über die gesamte Hublänge der Laufbüchse eine deutlich sichtbare Riefe auf. In Blickrichtung zum Pumpenelement waren ebenfalls mehrere kleine Riefen ersichtlich. Die Honspuren waren bei allen Zylinderlaufbüchsen deutlich sichtbar. Zylinder 3 wies ebenfalls mehrere geringfügige Riefen auf. Im Zylinder 4 konnten ca. 75 mm von oben gemessen, entlang des gesamten Umfanges Oxidationsspuren beobachtet werden.

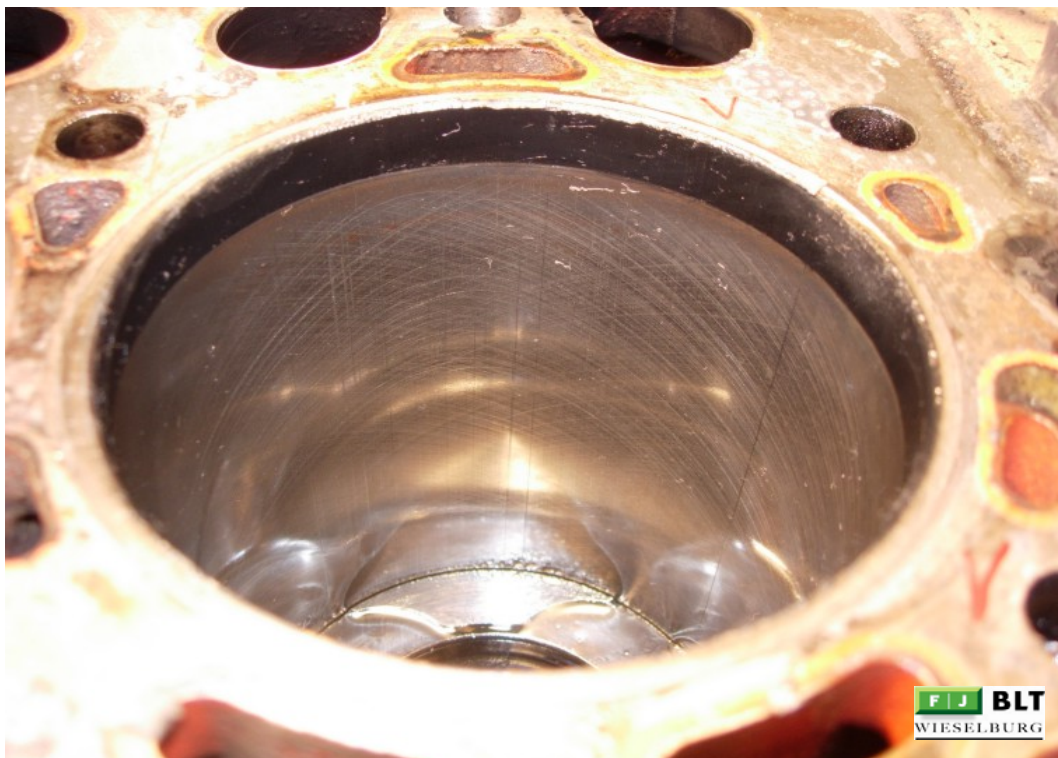


Abbildung 73: 04-OÖ Zylinderlaufbüchse

Der Kolbenboden zeigte durchgängig einen dünnen schwarz glänzenden Belagsfilm. In den Randbereichen konnte teilweise eine leichte Kruste festgestellt werden.



Abbildung 74: 04-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 411 wurde im Mai 2004 bei einer bisherigen Einsatzdauer von 1922 Traktormeterstunden von der Fa. Graml mit einem sog. Bioka 2 Tank Kraftstoffmanagement System ausgerüstet.

Nach ca. 140 Einsatzstunden wurde ein Schaden an der Zylinderkopfdichtung festgestellt und repariert.

Während der Versuchsdauer traten Störfälle wie eine defekte Dieselpumpe, eine defekte Steuerungsmembrane und verschiedene Übertemperaturwarnungen auf.

Im Zuge der Leistungsmessung bei der Enduntersuchung konnte sowohl bei Diesel- als auch bei Rapsölbetrieb ein Verlust von ca. 15% im Nennleistungsbereich festgestellt werden.

Die bei der Anfangsuntersuchung gemessenen Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionswerte lagen im Rapsölbetrieb deutlich unter jenen bei Dieselpetrieb. Typischerweise waren die Stickoxidemissionen bei Rapsölbetrieb höher als bei Diesel. Aufgrund eines Defektes der Elektronik (Hauptplatine) zum Zeitpunkt der Anlieferung am Motorenprüfstand der FJ-BLT konnten im Zuge der Enduntersuchung keine Emissionsmessungen durchgeführt werden.

Die Motorölwechselintervalle verliefen mit Ausnahme des Intervalls 4 durchgängig homogen. Im bezeichneten Intervall wurde bei der Viskosität ein Abfall von 38% der Altölprobe im Vergleich zur 5-min-Probe festgestellt. Die TBN verlief deutlich innerhalb der vorgegebenen Grenze eines maximalen Abfalls von 50%. Keine Grenzwertüberschreitungen gab es hinsichtlich der Gehalte der Verschleißelemente. Auch der Raps- und der Russgehalt der Motorölproben lagen unterhalb der vorgesehenen Limitwerte.

Grenzwertüberschreitungen gab es bei den Rapsölproben aus der Ölmühle vermehrt zu Beginn des Projektes beim Parameter Gesamtverschmutzung. Ab 2006 traten kaum mehr Überschreitungen auf. Analog hatte sich die Qualität aus dem Lagertank über die Zeit deutlich verbessert. Bis 2006 gab es einige Überschreitungen des



Wassergehaltes und der Gesamtverschmutzung. Die Analysenergebnisse der Proben aus dem Traktortank konnten größtenteils die geforderte Qualität einhalten.

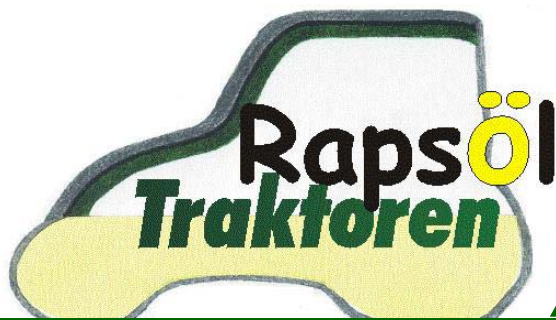
Die abschließende Motoröffnung zeigte einen zufriedenstellenden Zustand des Motors.





05-0Ö

05-0Ö



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt Vario 818</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Mai 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Hausmann 1-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.590 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt Vario 818
<b>Motortype</b>	BF6M2013C
<b>Erstmalige Zulassung</b>	09.01.2004
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	00771521
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	16,5 Liter mit Filter
<b>Nennleistung</b>	123 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2100 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	5702 ccm
<b>Bohrung x Hub</b>	98 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	1 : 18
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch PLD
<b>Einspritzdruck</b>	250 ± 12 bar
<b>Kraftstofftank</b>	340 Liter
<b>Eigengewicht</b>	6.780 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Mai 2004
<b>bei TMh</b>	70
<b>Enduntersuchung</b>	Februar 2008
<b>bei TMh</b>	1660

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Hausmann Eintanksystem
<b>Umrüster</b>	Siegfried Hausmann

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen jeweils die Werte von Diesel und von Rapsöl der Anfangsuntersuchung, welche jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt wurden. Über die Laufzeit wurde bei beiden Kraftstoffen ein Leistungsverlust beobachtet, wobei der Leistungsverlust bei Rapsölbetrieb deutlich höher war. Der Verbrauch bei Dieselpetrieb blieb trotz geringerer Leistung gleich, jener bei Rapsölbetrieb wurde entsprechend der Leistungsminderung geringer.

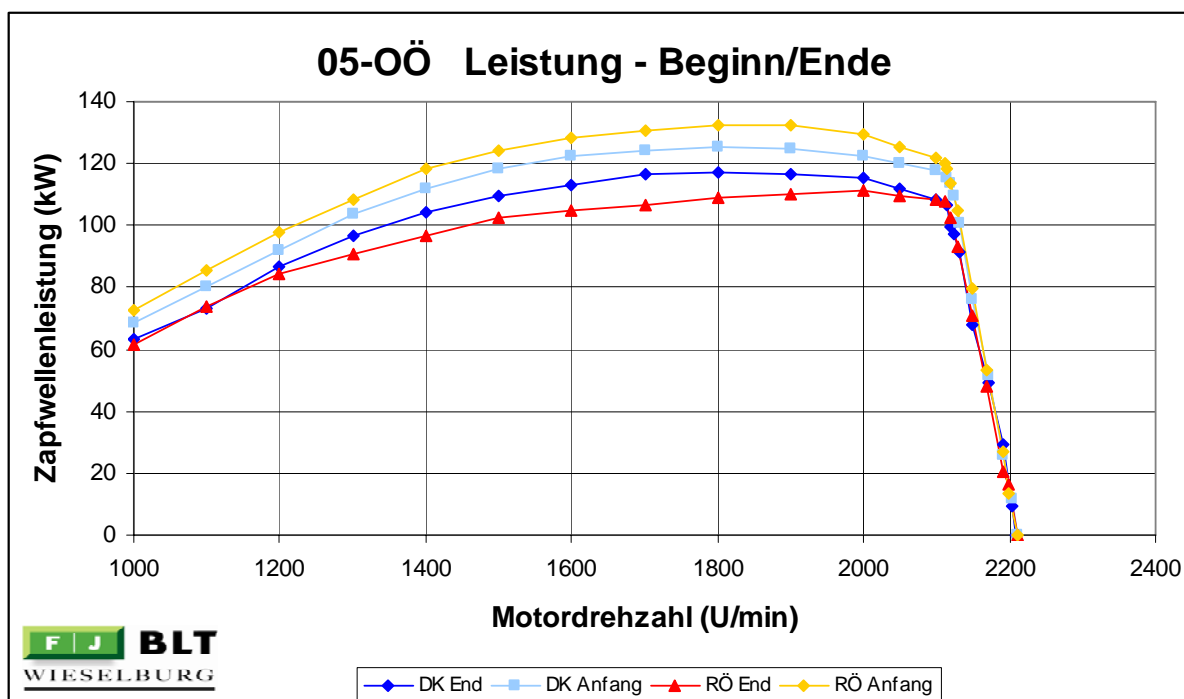


Abbildung 75: 05-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

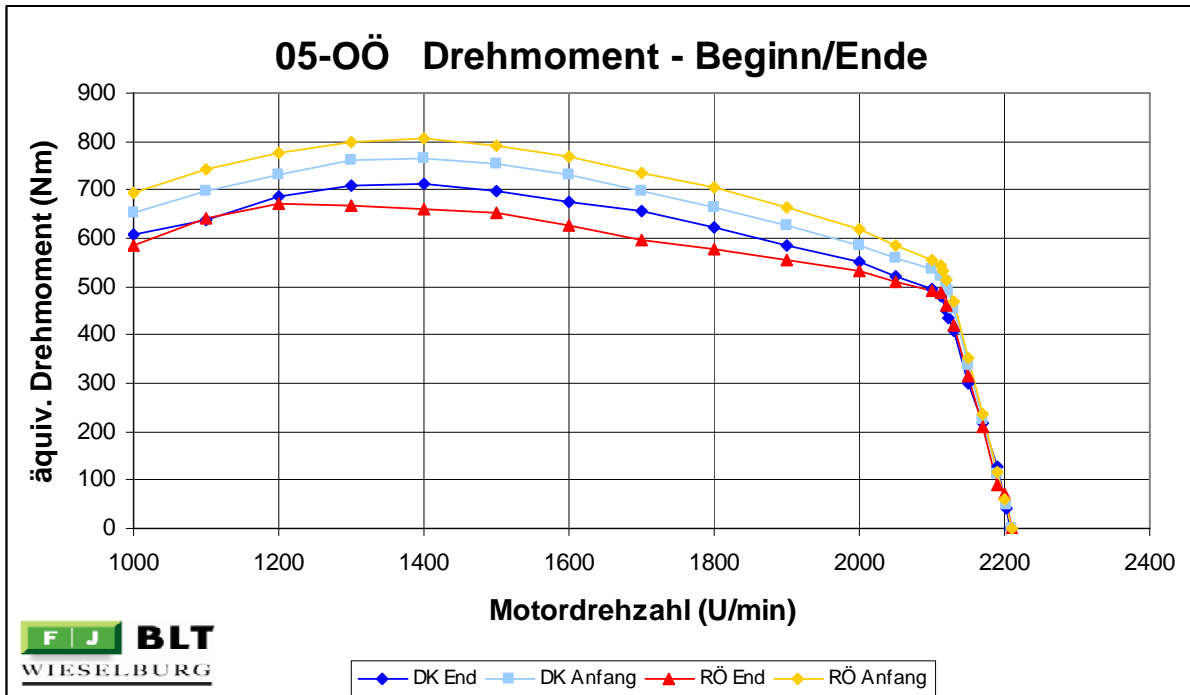


Abbildung 76: 05-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

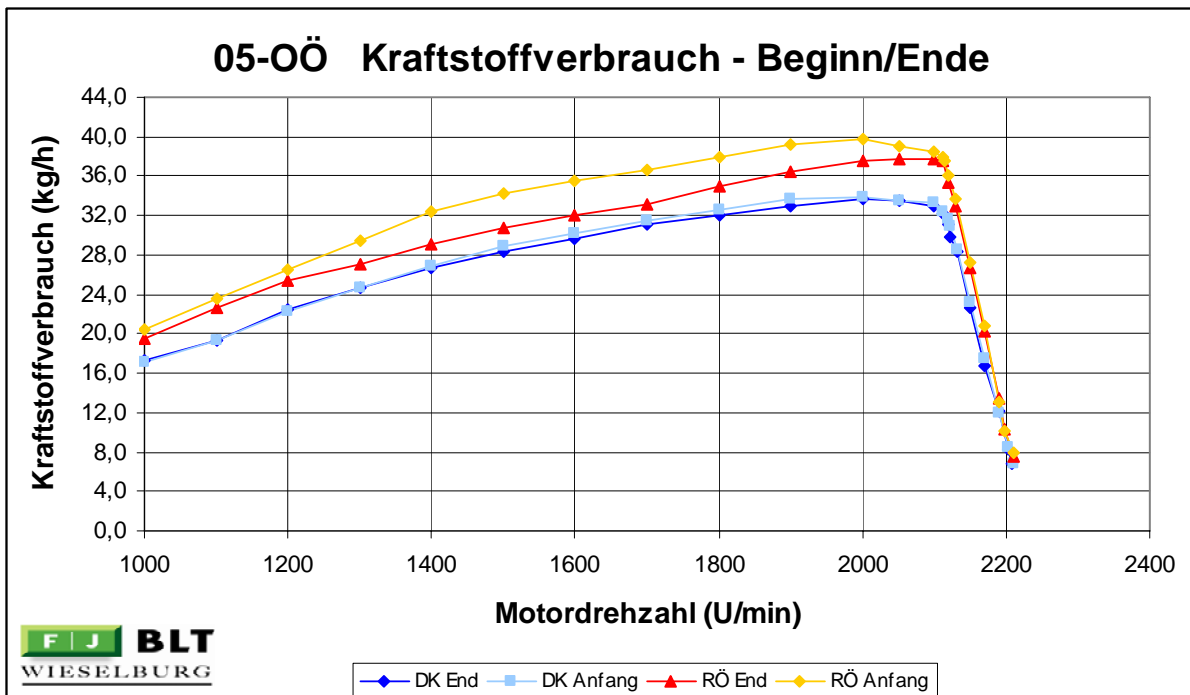


Abbildung 77: 05-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

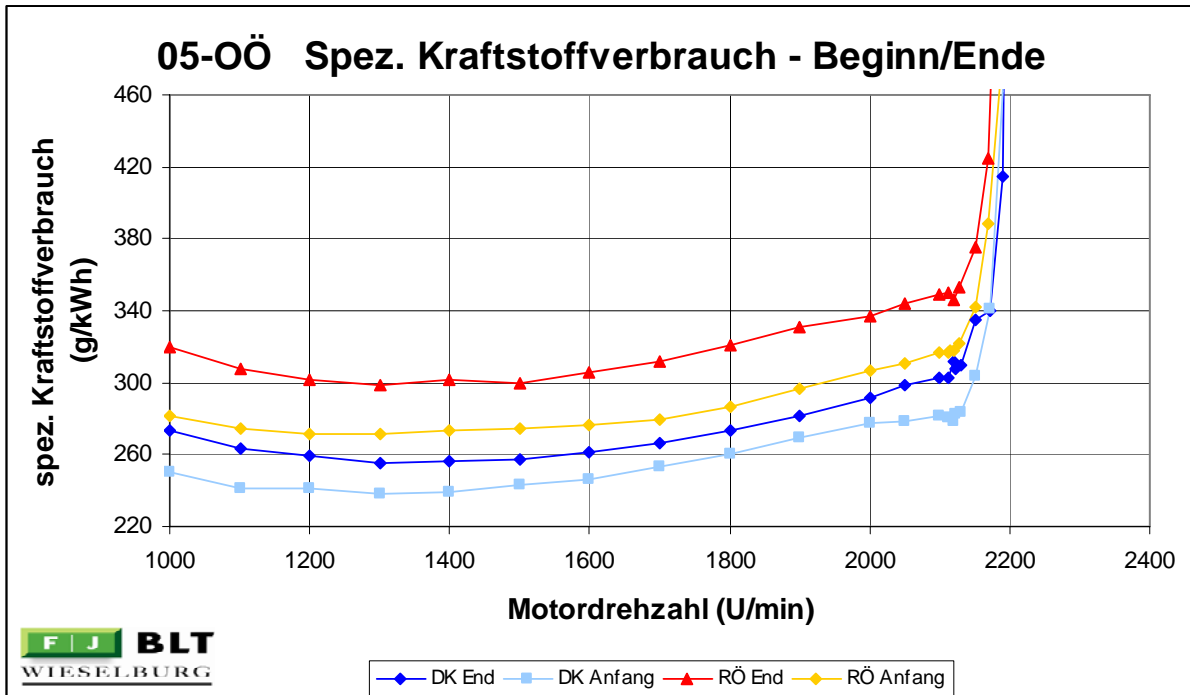


Abbildung 78: 05-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Deutlich zu beobachten ist, dass der Blow-by Wert der Enduntersuchung bei Rapsölbetrieb zugenommen hat.

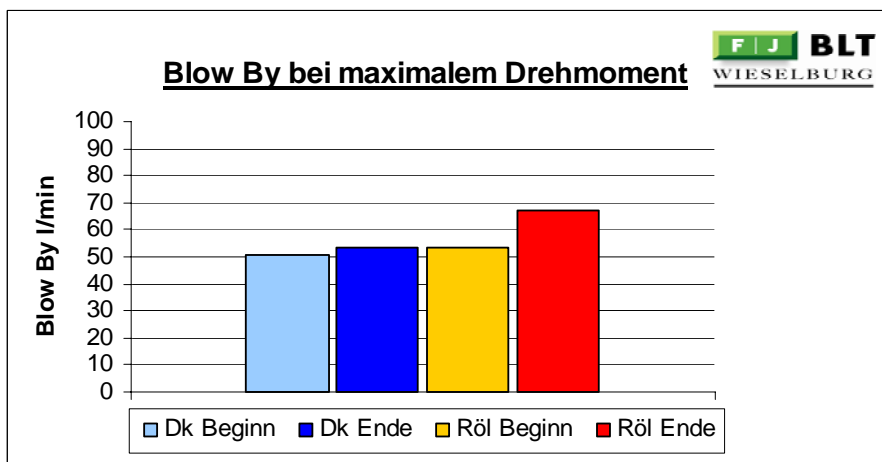


Abbildung 79: 05-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment

## Emissionsmessung

Die Kohlenmonoxidemissionen haben sowohl bei Rapsöl- als auch bei Dieselbetrieb über den Untersuchungszeitraum deutlich zugenommen. Der spezifische CO-Ausstoß in [g/kWh] lag somit deutlich über dem Mittelwert aller Traktoren. Die Kohlenwasserstoffemissionen blieben konstant. Sie waren bei Dieselbetrieb rund dreieinhalb mal so hoch wie bei Rapsölbetrieb. Eine leicht abnehmende Tendenz wiesen die Stickoxidemissionen bei beiden Kraftstoffen auf.

**Tabelle 17: 05-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende RÖ	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	25.11.2004	11.02.2008	24.11.2004	12.02.2008
CO	1,08	2,80	1,65	4,24
HC	0,10	0,11	0,37	0,37
NOx	7,84	6,67	6,30	5,56

## Partikelmessung

Neben der Emissionsmessung wurde im Rahmen der Enduntersuchung auch eine Partikelmessung mit einem „AVL Smart Sampler SPC 972“ durchgeführt, um zusätzlich Informationen über das Abgasverhalten zu erhalten. Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Partikelmessung.

**Tabelle 18: 05-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung**

[g/kWh]	1. Messung	2. Messung	Datum
RÖ		0,250	11.02.2008
DK	0,701	0,711	12.02.2008

Im Rahmen der Abschlussuntersuchung wurde mit Rapsöl lediglich eine Partikelmessung durchgeführt. Die emittierte Partikelmasse war im Dieselbetrieb rund 2,8 mal so hoch wie bei Rapsölbetrieb.

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W – 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden auf Empfehlung des Umrüsters auf 250 Betriebsstunden reduziert.

Während der Projektteilnahme wurden sieben Intervalle mit einem Mittelwert von 221 TMh untersucht. Von 39 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C analysiert und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 15% der alle 50 Bh vorgesehenen Proben wurden vom Betreiber nicht gezogen. In den nachfolgenden Diagrammen sind die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangswert. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

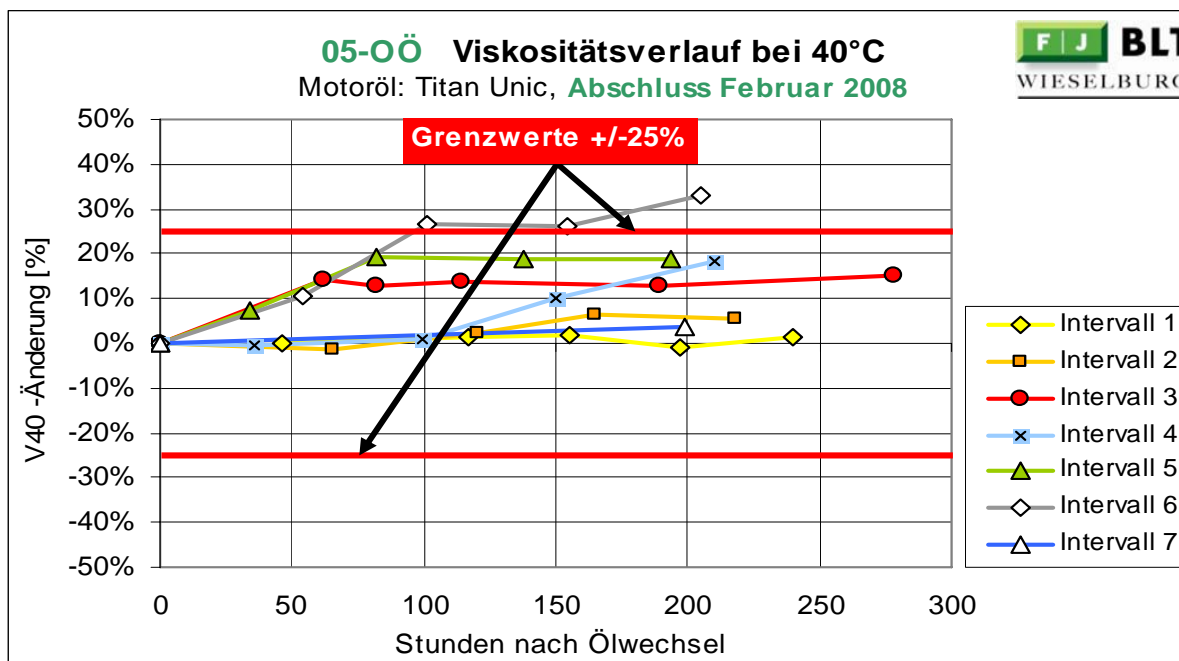


Abbildung 80: 05-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Die ersten drei Intervalle verliefen relativ konstant. Ab dem Intervall 4 nahm die Viskosität deutlich zu bis beim Intervall 6 der Grenzwert von 25% bereits nach 100

Stunden überschritten wurde. Das Intervall 7 schien zwar wieder konstant, hier wurde jedoch noch eine weitere Probe ohne Angabe der aktuellen Betriebsstunden analysiert, die mit einer Viskosität von 120 mm<sup>2</sup>/s den vorgegebenen Grenzwert um 19% überschreiten würde. Was bei der Viskosität bei 40°C noch als grenzwertnaher Anstieg beobachtet werden konnte, ist bei der Viskosität bei 100°C bereits eine Grenzwertüberschreitung. Ab dem Intervall 4 wurde regelmäßig der Grenzwert von 25% Viskositätsänderung überschritten.

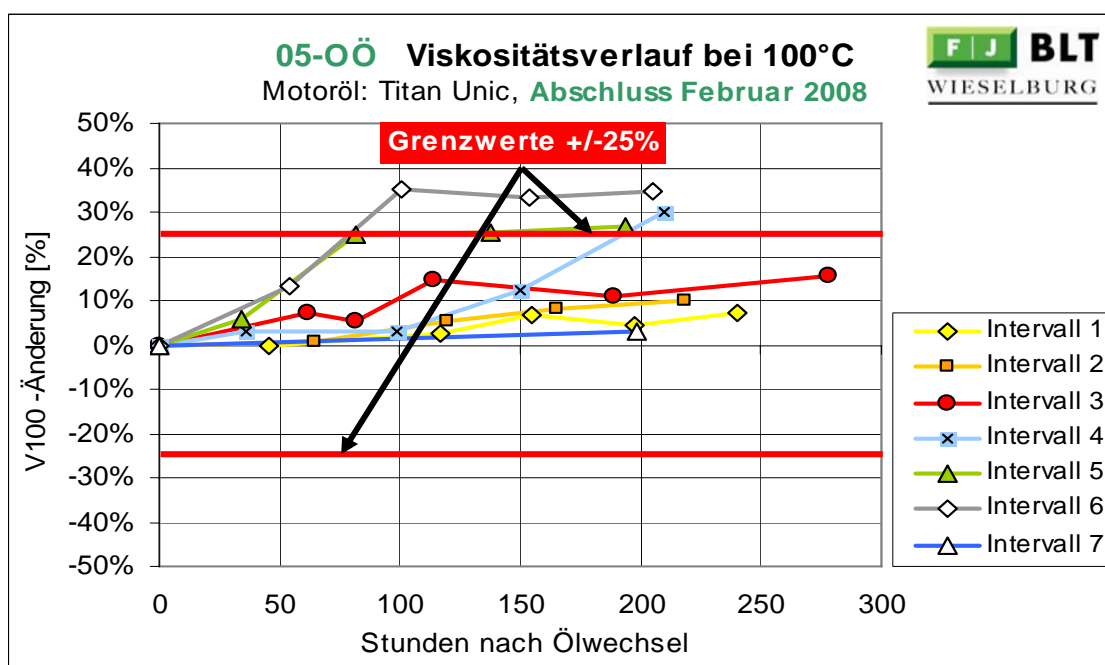
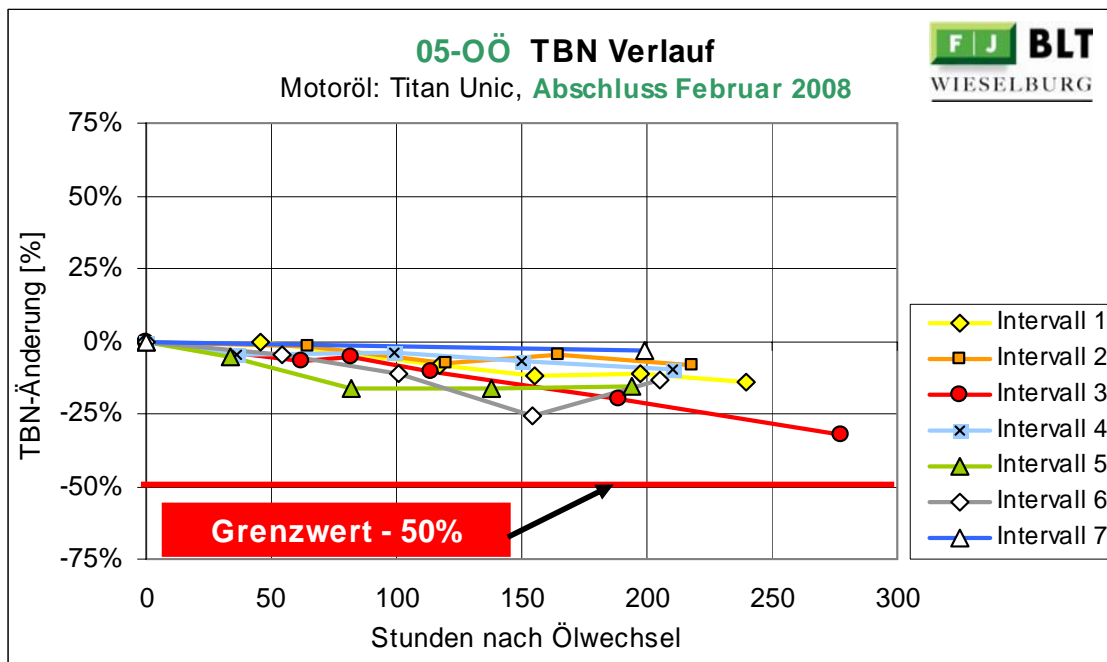


Abbildung 81: 05-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

Bei der Total Base Number konnte durchgängig der Grenzwert einer maximalen Abnahme von 50% eingehalten werden. Die maximale Abnahme war im Intervall 3 mit 32% zu sehen. Im Schnitt nahm die TBN bei allen Intervallen über die Laufzeit um 17% ab.





**Abbildung 82: 05-OÖ Änderung der Total Base Number**

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 14 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich des Russ- und Rapsölgehaltes, sowie auf den Gehalt an Verschleißmetallen untersucht wurden.

Die Gehalte der Elemente Aluminium, Kupfer und Chrom lagen durchgängig bei der Nachweisgrenze. Im Gegensatz dazu gab es beim Eisengehalt eine Überschreitung der vorgegebenen 0,5 mg/Bh Verschleißgeschwindigkeit. Der Bleigehalt bewegte sich unauffällig innerhalb des Limitwertes.

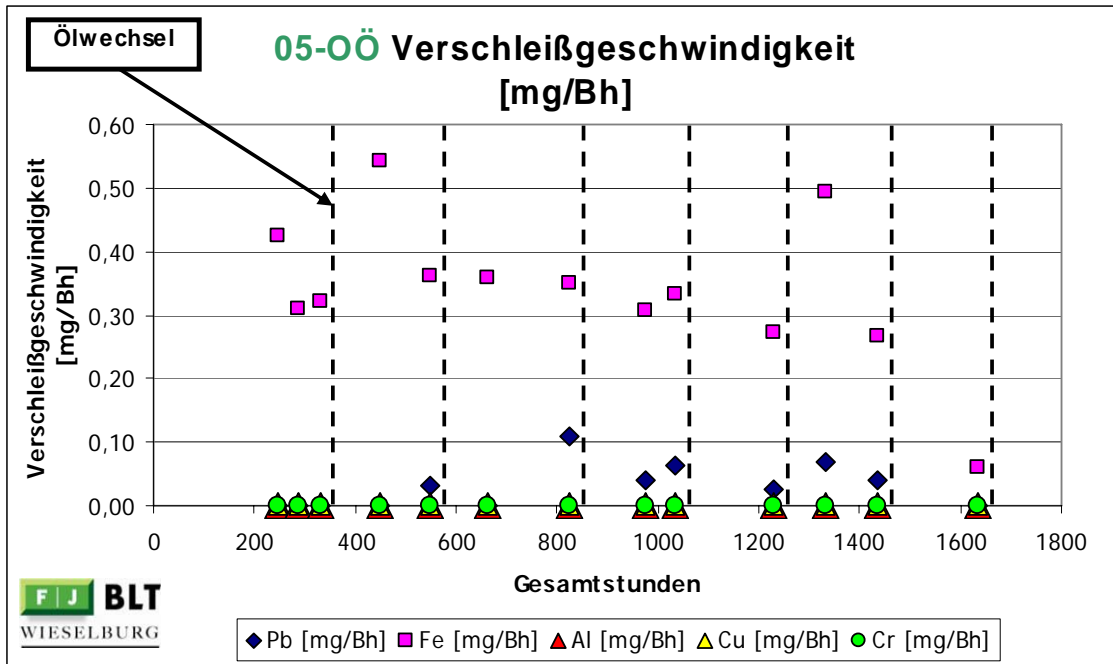


Abbildung 83: 05-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Der Grenzwert für den Russgehalt von 3% wurde ab dem zweiten Ölwechselintervall durchgängig überschritten mit einem maximalen Anteil von 4,5%. Der Rapsölgehalt lag unter dem vorgesehenen Grenzwert von 15%, wobei dieser bei den Intervallen 1, 2 und 6 mit über 10% verhältnismäßig hoch war.

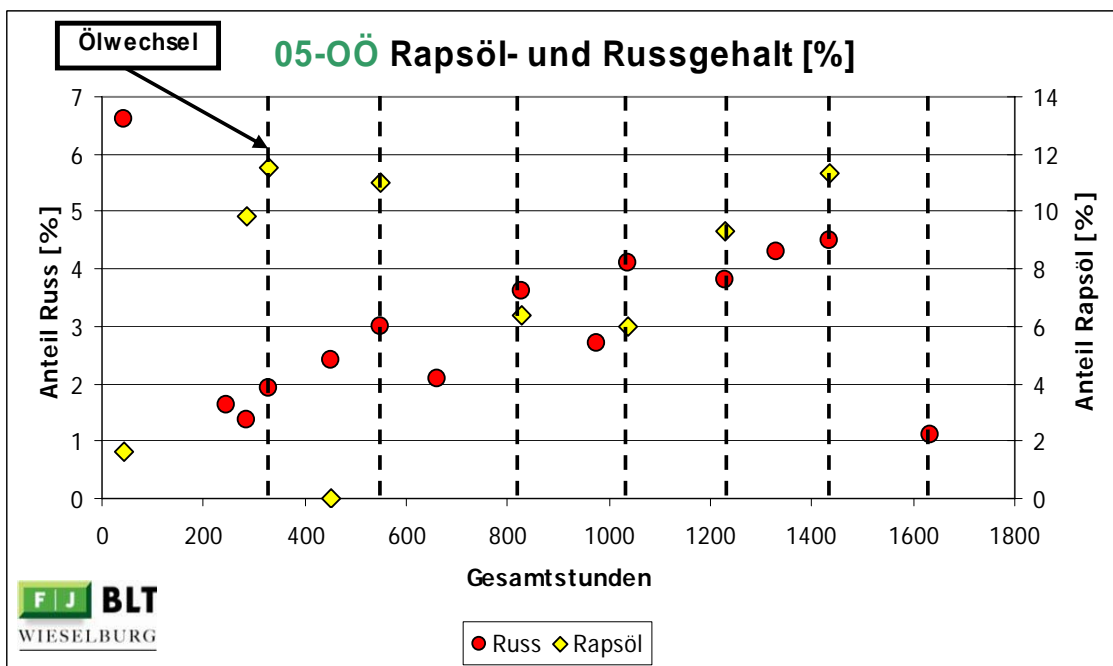


Abbildung 84: 05-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben



### **Kommentar Fa. Fuchs**

Hinsichtlich der Verschleißelemente wird von den untersuchten Proben der Grenzwert der Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh lediglich in einem Fall bei Eisen überschritten. Blei, Aluminium, Kupfer und Chrom bleiben unter diesem Limit.

Dennoch überschreitet Blei in zwei Fällen den festgelegten Grenzwert von 10 mg/kg um bis zu das Dreifache.

Der Rußeintrag ist als kritisch anzusehen, da fast die Hälfte der untersuchten Proben am Grenzwert bzw. knapp oberhalb des Grenzwertes von 3%-Masse liegen.

Der Kraftstoffeintrag in das Öl liegt bei den untersuchten Proben zwar unterhalb der festgelegten Grenze, bewegt sich aber dort auf einem mittleren bis hohen Niveau.

Die Viskosität übersteigt in drei Intervallen die festgelegte Grenze, wobei die Viskosität nicht – wie bei Alterung sonst üblich – weiter ansteigt, sondern auf einem höheren Niveau mehr oder weniger konstant weiterläuft. Eine eindeutige Erklärung für dieses Verhalten kann nicht gegeben werden, evtl. kommen Ölnachfüllung oder eine geänderte Kraftstoff-Qualität in Frage.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 12 Kraftstoffproben aus dem Lagertank, zehn Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) geforderten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analyseergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Grenzwertüberschreitungen bei der Gesamtverschmutzung (GV) gab es zu Beginn der Projektteilnahme. Der Limitwert von 25 mg/kg konnte ab 2005 bei den gezogenen Stichproben durchgängig eingehalten werden.

Tabelle 19: 05-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
09.06.2004		35,55	44,00	1,79	5,95	8,00	0,082
12.08.2004	915	35,57	37,77	1,71	6,35	9,10	0,068
14.11.2004	919	34,46		0,97		3,58	0,081
24.02.2005	918	35,94	23,25	1,01		6,24	0,006
23.03.2005	918	34,43	16,43	2,26			0,077
02.06.2005	918	34,34	17,87	2,57		3,38	0,075
15.09.2005	917	34,74	23,60	0,99	3,18	7,16	0,062
11.01.2006		34,50	19,45	1,00	3,32	4,45	0,064
19.05.2006	918	34,52	10,35	2,18	1,12	8,02	0,081
01.03.2007	918	35,06	7,60	0,91	4,27	3,62	0,053
28.06.2007	919	35,48	16,90	0,91	4,22		0,058
20.09.2007	919		15,78	0,80		6,83	0,053

Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen gab es bei den Parametern Wassergehalt und Oxidationsstabilität. Diese Überschreitungen deuten - sofern die Auslieferungsqualität in Ordnung war - auf suboptimale Lagerbedingungen hin. Der Grenzwert der Neutralisationszahl (NZ) wurde bei drei Proben überschritten.

Bei den übrigen Parametern (Dichte, V40, P-Gehalt) gab es keine Überschreitungen der geforderten Grenzwerte.

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Bei den aus dem Traktortank gezogenen Kraftstoffproben gab es bei drei untersuchten Parametern über die Projektlaufzeit mehrmals Überschreitungen. Jeweils zwei Proben wiesen überhöhte Werte bei den Parametern Gesamtverschmutzung bzw. Neutralisationszahl auf. Beim Parameter Wassergehalt überschritten vier der analysierten zehn Kraftstoffproben den geforderten Grenzwert.

Tabelle 20: 05-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
14.11.2004	919	34,82	36,42	0,98	5,99	0,076	0
24.02.2005	884	13,73	9,53	0,60	4,12	0,033	36
23.03.2005	883	13,58	8,20	0,64		0,040	36
02.06.2005	918	34,34	17,87	2,57	3,38	0,075	1
15.09.2005	916	34,30	16,88	1,00	7,43	0,076	1
11.01.2006		33,93	15,50	0,99	4,89	0,062	1
19.05.2006	918	34,86	34,80	2,10	7,94	0,079	0
01.03.2007	919	34,40	5,78	0,85	2,35	0,055	1
28.06.2007	917	32,77	12,60	0,84		0,051	1
20.09.2007	919		8,90	0,85	4,83	0,053	1

Aufgrund des höheren Dieselanteils bei den Stichproben 2 und 3, die im Februar bzw. März gezogen wurden, wurde der Grenzwert der Dichte unterschritten. Ab 2007 konnten bei den untersuchten Kraftstofftraktortankproben keine Grenzwertüberschreitungen mehr festgestellt werden.



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Wie man im nachfolgenden Formular erkennen kann, war dieser Traktor lt. Eintragungen des Traktortagebuches während eines Zeitraumes von zweieinhalb Jahren 1.156 Betriebsstunden mit Rapsöl in Betrieb.

Insgesamt wurden 18.251 Liter Rapsöl getankt, was einem durchschnittlichen Verbrauch von 15,79 Litern/TMh entspricht. Der Dieselanteil liegt bei diesem Traktor mit 1-Tank-System Umrüstung bei 0% über die Projektlaufzeit laut Eintragungen des Traktortagebuches. Dies korreliert jedoch nicht mit den Analysen der Rapsölproben. Der Einsatzbereich lag zum überwiegenden Teil im hohen Lastbereich. Die Auswertungen des Traktortagebuchs beruhen auf Eintragungen von 81 Tagen.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers, welcher seinen Traktor kennt. Deshalb ermöglichen diese Aufzeichnungen eine Beurteilung des Fahrbetriebes und stellen neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis dar.

Nachfolgend sind die Auswertungen der einzelnen Parameter dargestellt.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 05 Fendt Vario 818



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 11. Jun. 04 bei TMh: 73  
 Letzter Eintrag 20. Dez. 06 bei TMh: 1229,0 TMh lt. Traktortagebuch **1156,0**

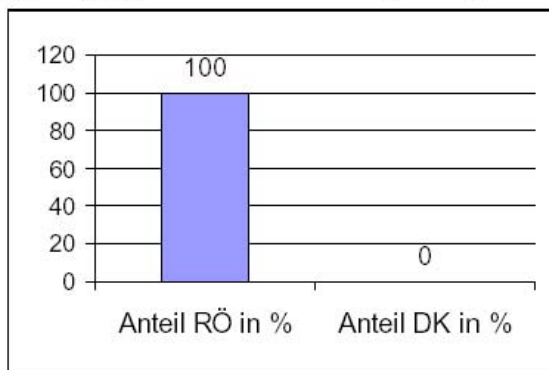
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 81

Tankmengen:

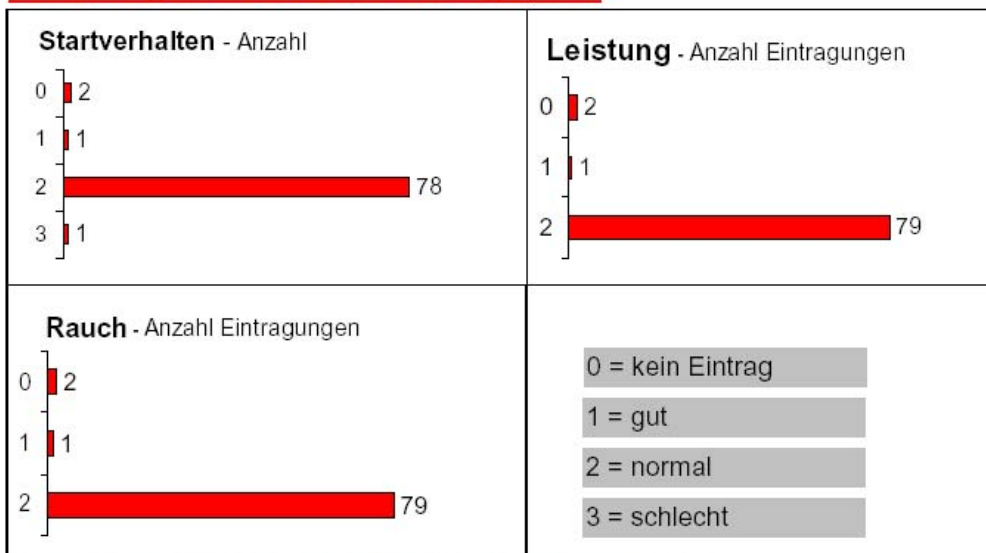
Diesel in l: 0  
 Rapsöl in l: 18251

durchschnittlicher Verbrauch/h:

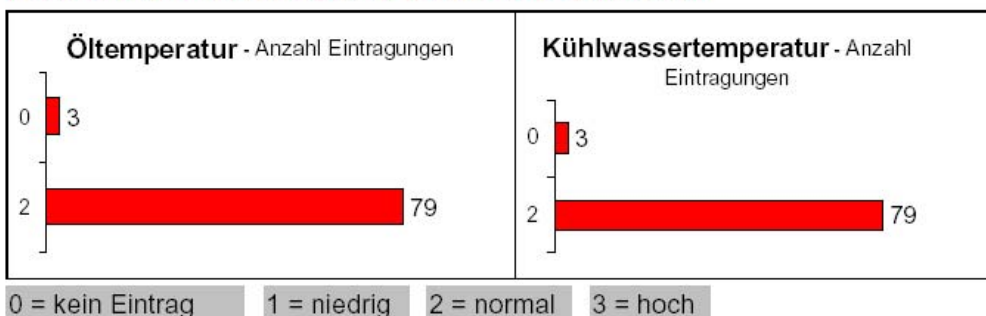
**15,79**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



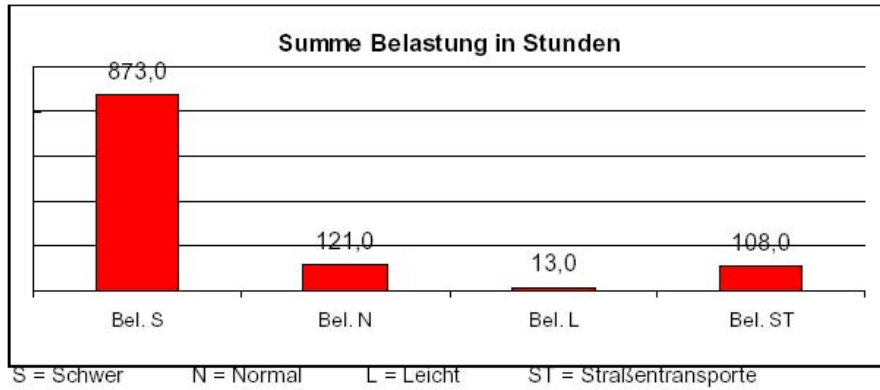


Traktortagebuch

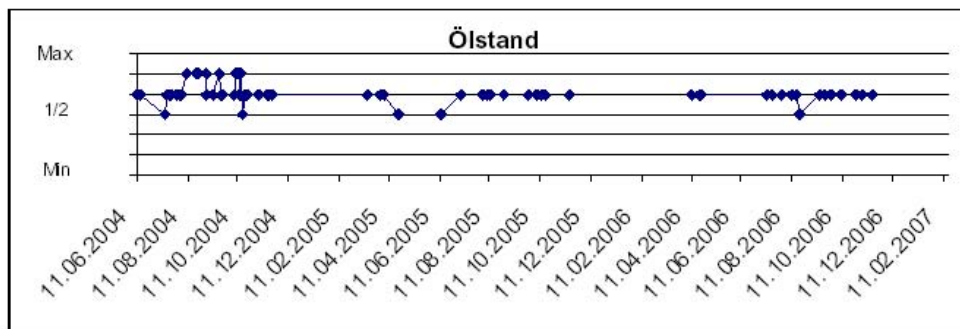
Fahrzeug: 05 Fendt Vario 818



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf





## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse sowie Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Tabelle 21: 05-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	38	32	6	6	270	280	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	36	32	6	9	270	295	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	36	31	7	8	270	280	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	38	31	6	4	270	285	i.O.	i.O.	Düse 4
Zylinder 5	36	32	6	6	270	275	i.O.	i.O.	Düse 5
Zylinder 6	38	32	6	8	270	290	i.O.	i.O.	Düse 6

i.O....in Ordnung

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende durchgehend einen geringeren Druck.

Die Druckverlustmessung im Brennraum weist keine nennenswerten Veränderungen auf.

Die Einspritzdüsen wurden vom Umrüstdetrieb bei Versuchsbeginn auf 270 bar eingestellt. Bei Versuchsende war bei allen Düsen ein Anstieg des Öffnungsdrucks zu verzeichnen.

Bei den Einspritzdüsen konnte teilweise eine relativ dicke Belagkruste im Schaftbereich festgestellt werden. Auch die Düsen spitzen waren mit einer deutlichen Verkrustung versehen. Die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 85: 05-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

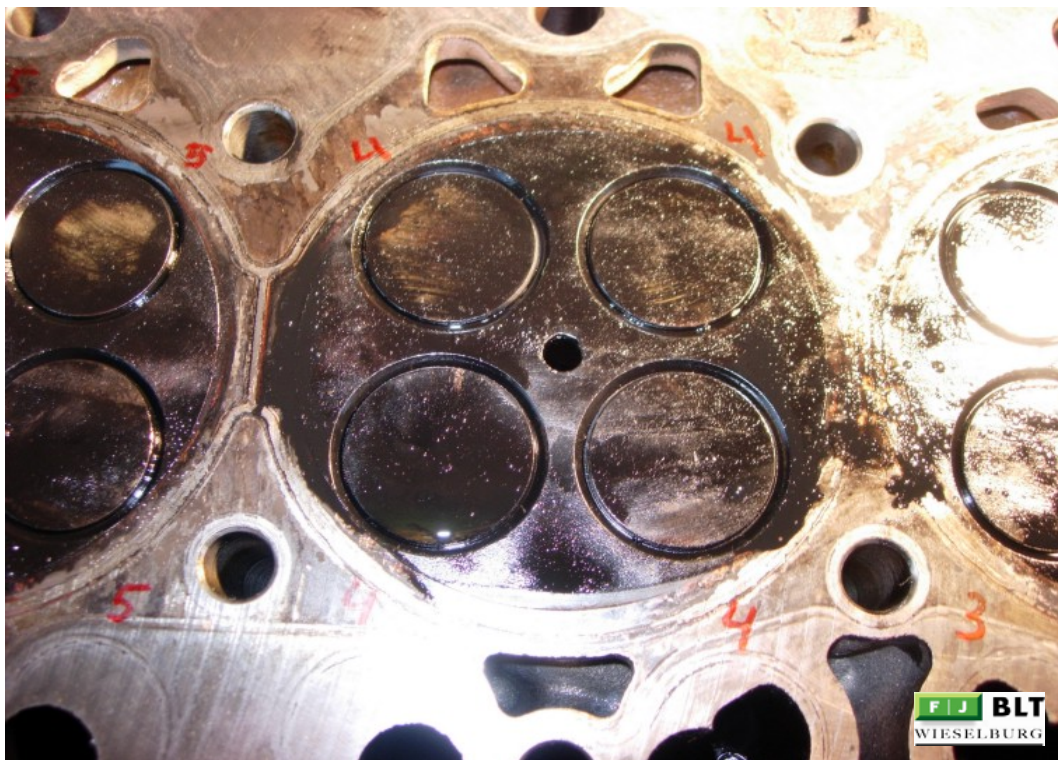


Abbildung 86: 05-OÖ Zylinderkopf

Der Zylinderkopf weist einen dünnen schwarzen glänzenden Belag auf. Der Belag war schmierig und konnte größtenteils durch Wischen entfernt werden.



**Abbildung 87: 05-OÖ Einlassventile**

Bei den Einlassventilen konnte am Übergang vom Ventilteller zum Schaft eine Belagkruste festgestellt werden. Die Auslassventile waren lediglich geschwärzt und wiesen keinen Belag auf.



Abbildung 88: 05-OÖ Auslassventile

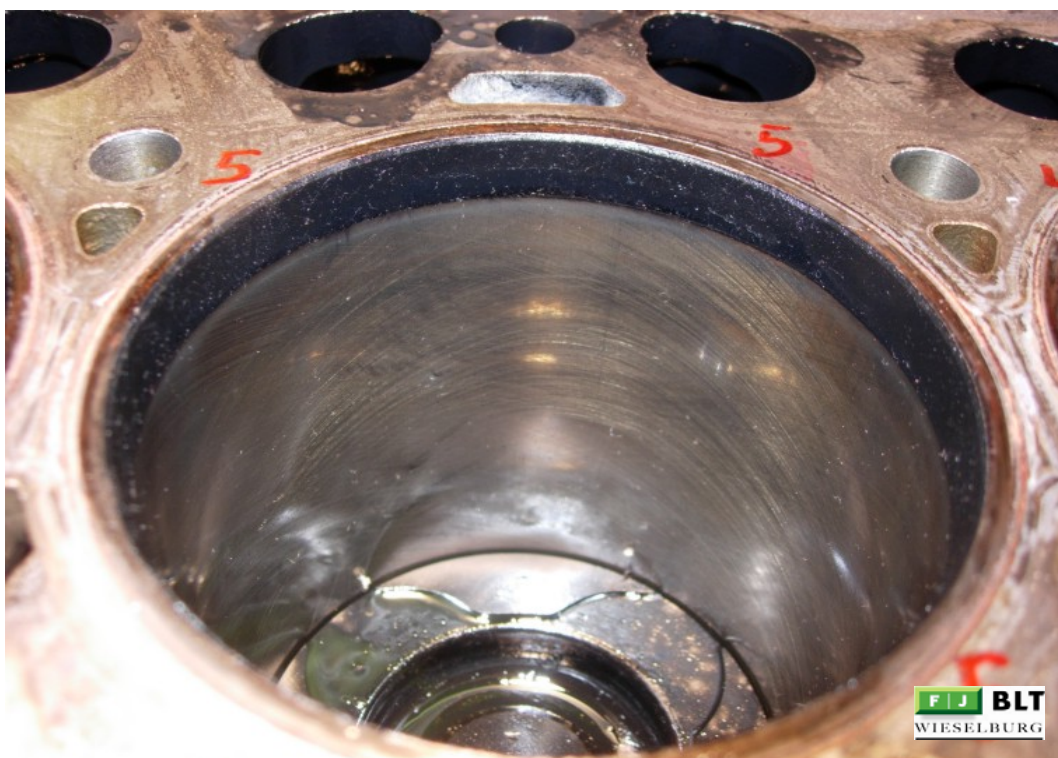


Abbildung 89: 05-OÖ Zylinderlaufbüchse

Der Feuerstegbereich war bei allen Zylindern klar abgegrenzt. Am Feuersteg war eine dünne schwarze Belagkruste sichtbar. Bei allen Laufbüchsen waren die

Honspuren deutlich sichtbar. Vereinzelt konnten leichte Spuren (keine Riefen) von Koksteilchen festgestellt werden.

Die Kolbenböden wiesen einen dünnen schwarzen schmierigen Belag auf.

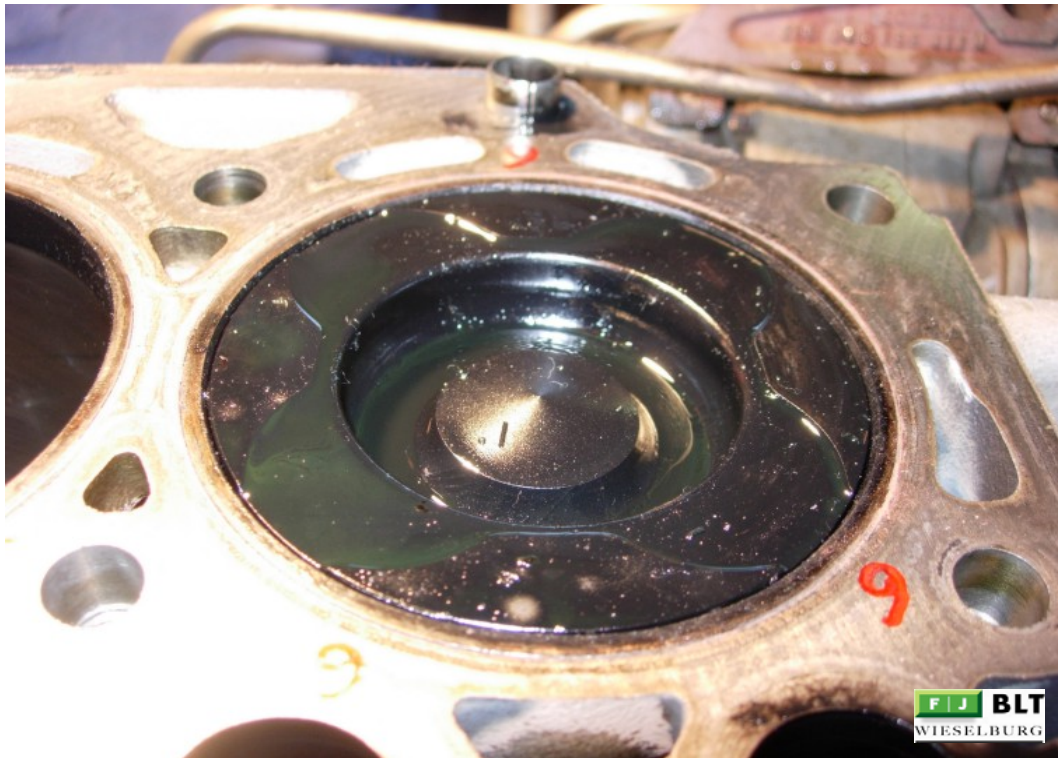


Abbildung 90: 05-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 818 wurde im Mai 2004 bei 70,5 Traktormeterstunden von der Firma Hausmann für den Betrieb mit Rapsöl ausgerüstet. Insgesamt wurde der Traktor 1590 Traktormeterstunden mit Rapsöl betrieben

Während der gesamten Einsatzdauer waren keine nennenswerten Störungen zu verzeichnen.

Die Leistungsmessung zu Beginn zeigte eine etwas höhere Leistung bei Rapsölbetrieb. Bei der Endvermessung konnte sowohl mit Dieselkraftstoff als auch mit Rapsöl ein Leistungsverlust festgestellt werden, wobei die Verluste mit 13 kW bei Rapsöl deutlich höher waren. Der Kraftstoffverbrauch ist bei Rapsöl entsprechend der Leistung gesunken, bei Diesel konstant geblieben.

Deutliche Zunahmen konnte man bei den gasförmigen Emissionen über die Laufzeit hinsichtlich der Kohlenmonoxide beobachten. Diese stiegen bei beiden Kraftstoffen und liegen am Ende deutlich über dem Durchschnitt aller Traktoren. Leicht rückläufig verhielten sich die Stickoxide, die Konzentration der Kohlenwasserstoffe blieb konstant, wobei hier beide Messungen unter dem Durchschnitt liegen.

Die Partikelmessung ergab deutlich höhere Werte bei Dieselbetrieb, wobei diese auch deutlich über dem Durchschnitt aller Messungen lagen.

Bei den Motorölanalysen konnte bei der Viskosität bei 40°C ab dem Intervall 4 ein auffälliger Anstieg, im Intervall 6 schließlich eine Grenzwertüberschreitung beobachtet werden. Bei der Viskosität bei 100°C wurde der Grenzwert von 25% bereits ab dem Intervall 4 überschritten. Die Total Base Number verlief bei allen Wechselintervallen innerhalb der Grenze eines maximalen Abfalls von 50% der Altölprobe im Vergleich zur Frischölprobe.

Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der Rapsölqualität gab es bei den Proben aus der Ölmühle vermehrt zu Beginn des Projektes bei der Gesamtverschmutzung. Ab 2006 gab es insgesamt kaum mehr Überschreitungen.



Bei den Lagertankproben gab es Überschreitungen bei der GV im ersten Jahr der Projektteilnahme – ab 2005 konnte die geforderte Qualität eingehalten werden. Durchgängig gab es Überschreitungen des Wassergehaltes. Bis auf weitere Überschreitungen der Neutralisationszahl konnte die geforderte Qualität eingehalten werden.

Analog zu den Lagertankproben gab es auch bei den Proben aus dem Traktortank immer wieder Überschreitungen des Wassergehaltes. Ab 2007 gab es bei den gezogenen Stichproben bei den Traktortank- wie auch den Lagertankproben keine Überschreitungen mehr.

Die abschließende Motoruntersuchung zeigte bei allen Einspritzdüsen eine Erhöhung des Öffnungsdruckes um bis zu 25 bar. Der Brennraum zeigte einen zufriedenstellenden Zustand.

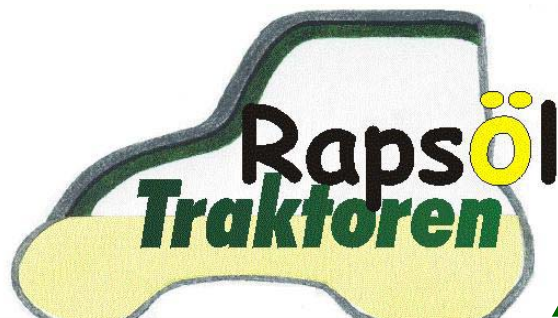






06-OÖ

06-OÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt Vario 410</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Mai 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Hausmann 1-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.503 Betriebsstunden</b>




### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt Vario 410
<b>Motortype</b>	BF4M2013C
<b>Erstmalige Zulassung</b>	13.03.2002
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	BF4M2013C686154
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	11 Liter
<b>Nennleistung</b>	74 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2100 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	3800 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	98 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	18,5 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch P.L.D.
<b>Einspritzdruck</b>	250 bar
<b>Kraftstofftank</b>	165 Liter
<b>Eigengewicht</b>	5.320 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Mai 2004
<b>bei TMh</b>	1153
<b>Enduntersuchung</b>	Mai 2008
<b>bei TMh</b>	2656

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Hausmann Eintanksystem
<b>Umrüster</b>	Siegfried Hausmann

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen jeweils die Werte von Diesel und von Rapsöl der Anfangsuntersuchung, welche jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt werden. Die Leistung konnte über die Laufzeit bei Dieselkraftstoff nahezu konstant gehalten werden. Bei Rapsöl wurde eine geringe Abnahme der Leistung festgestellt. Analog zu den Leistungskurven verhielt sich der Kraftstoffverbrauch über die Laufzeit.

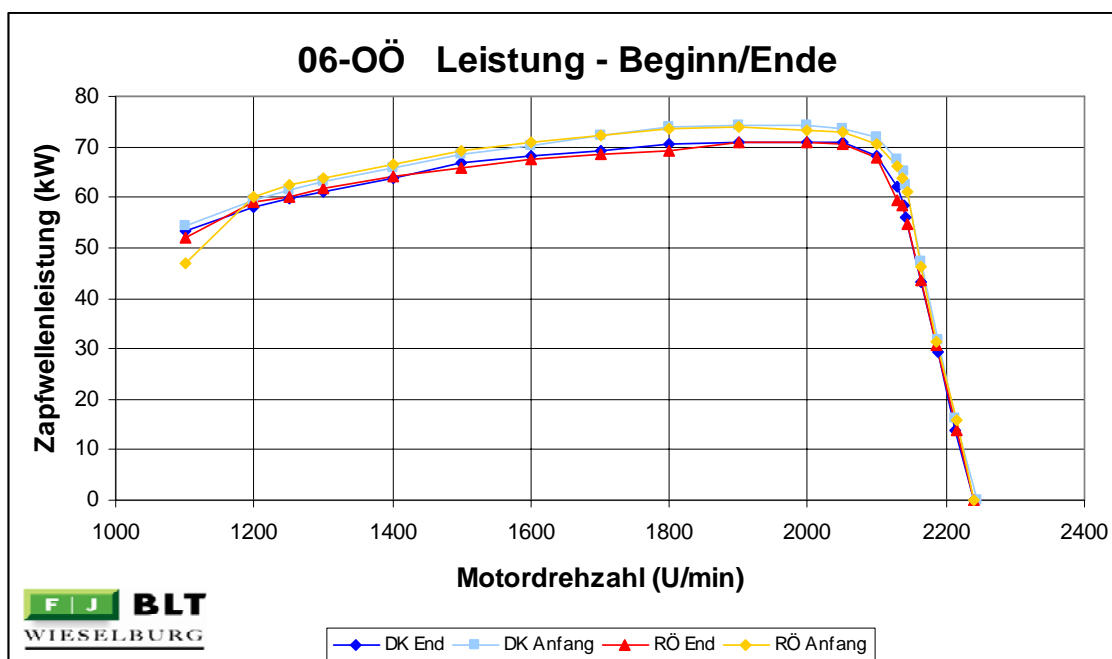


Abbildung 91: 06-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

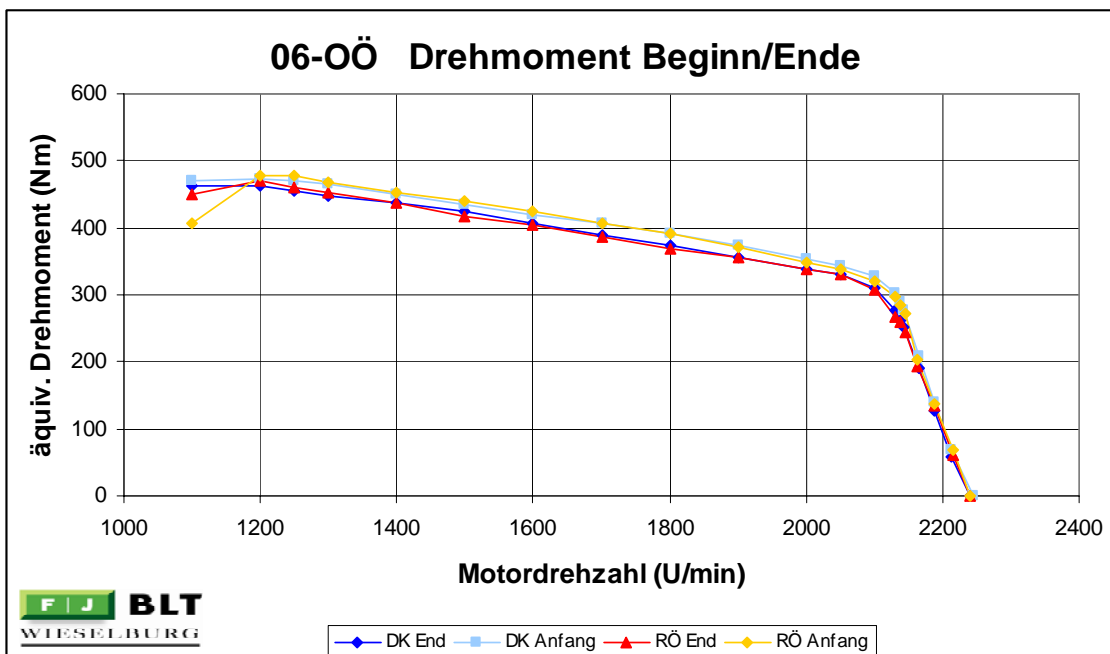


Abbildung 92: 06-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

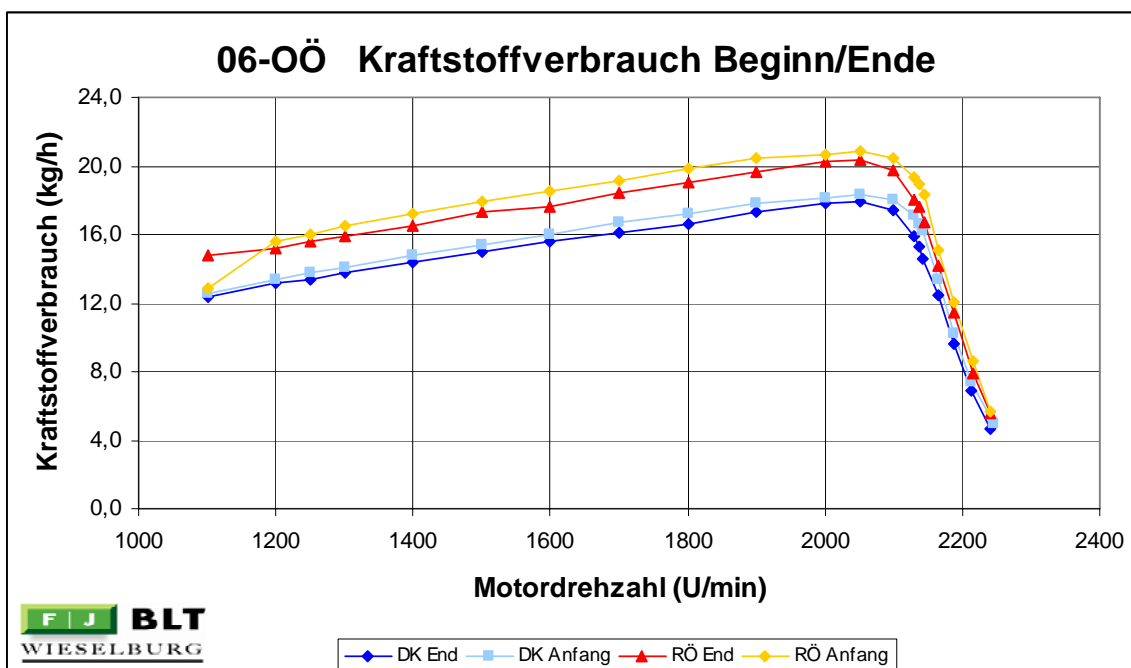


Abbildung 93: 06-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

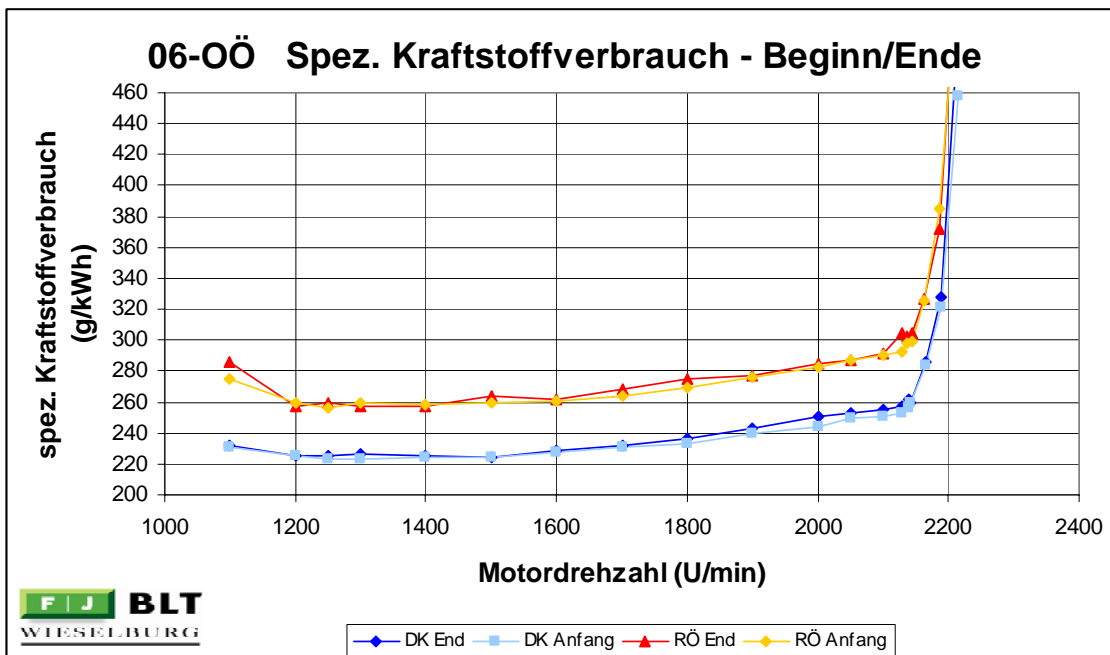


Abbildung 94: 06-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Bei Versuchsende wurde ein deutlicher Anstieg des Blow-by Wertes bei Dieselbetrieb festgestellt. Die Endmessung zeigte einen deutlichen Anstieg der Blow-by Werte, der bei Dieselkraftstoff noch stärker ausgeprägt war.

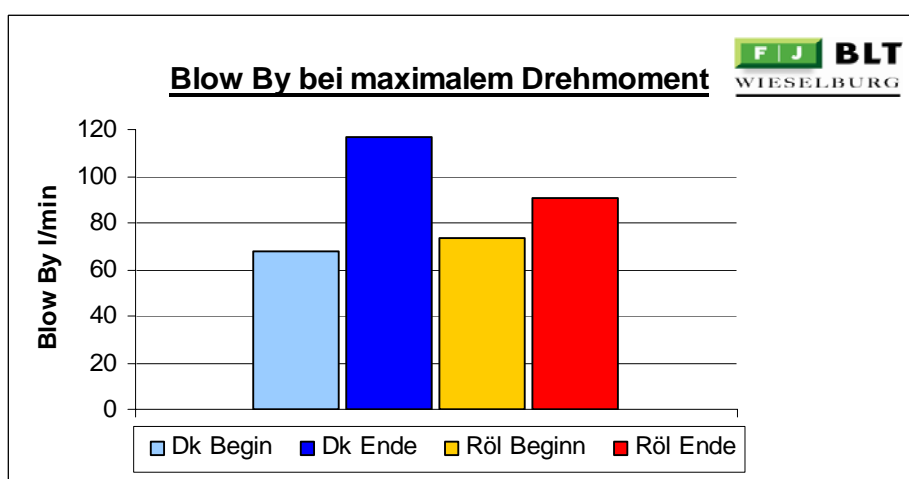


Abbildung 95: 06-OÖ Blow By Werte bei maximalem Drehmoment

## Emissionsmessung

Die gasförmigen Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen lagen sowohl bei der Anfangsuntersuchung wie bei der Abschlussuntersuchung bei Rapsölbetrieb deutlich unter denen des Dieselbetriebs. Die Stickoxidemissionen waren hingegen erwartungsgemäß bei Rapsölbetrieb höher als bei Dieselbetrieb.

Über die Projektlaufzeit wurde bei Rapsölbetrieb eine geringfügige Abnahme der Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen und eine Zunahme der Kohlenmonoxidemissionen beobachtet. Konträr verhielt sich der Trend bei Dieselbetrieb. Hier nahmen die Kohlenmonoxidemissionen ab, die Kohlenwasserstoff- und Stickoxidemissionen hingegen zu.

**Tabelle 22: 06-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende RÖ	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	31.01.2005	22.04.2008	12.01.2005	23.04.2008
CO	0,64	0,73	1,21	1,07
HC	0,14	0,12	0,49	0,51
NOx	12,50	12,10	10,50	10,80

## Partikelmessung

Neben der Emissionsmessung wurde im Rahmen der Enduntersuchung auch eine Partikelmessung mit einem „AVL Smart Sampler SPC 972“ durchgeführt, um zusätzlich Informationen über das Abgasverhalten zu erhalten. Es wurden jeweils zwei Messungen mit Diesel und Rapsöl durchgeführt.

**Tabelle 23: 06-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung**

[g/kWh]	1. Messung	2. Messung	Datum
RÖ	0,083	0,079	22.04.2008
DK	0,098	0,098	23.04.2008

Die Ergebnisse der Partikelmessung war bei beiden Kraftstoffen äußerst zufrieden stellend. Dieser Traktor wies die geringsten Partikelemissionen auf.

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W – 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber beibehalten. Zu Beginn des Projektes wurde das Motoröl Fuchs Titan Universal verwendet. Nach 80 Betriebsstunden wurde der Traktor auf Fuchs Titan Unic umgeölt. In der Folge wurden während der Projektlaufzeit drei Wechselintervalle zu einem Mittelwert von 447 TMh untersucht. Von 38 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C gemessen und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Lediglich 8% der geplanten Motorölproben wurden vom Betreiber nicht gezogen. In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine maximal zulässige Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

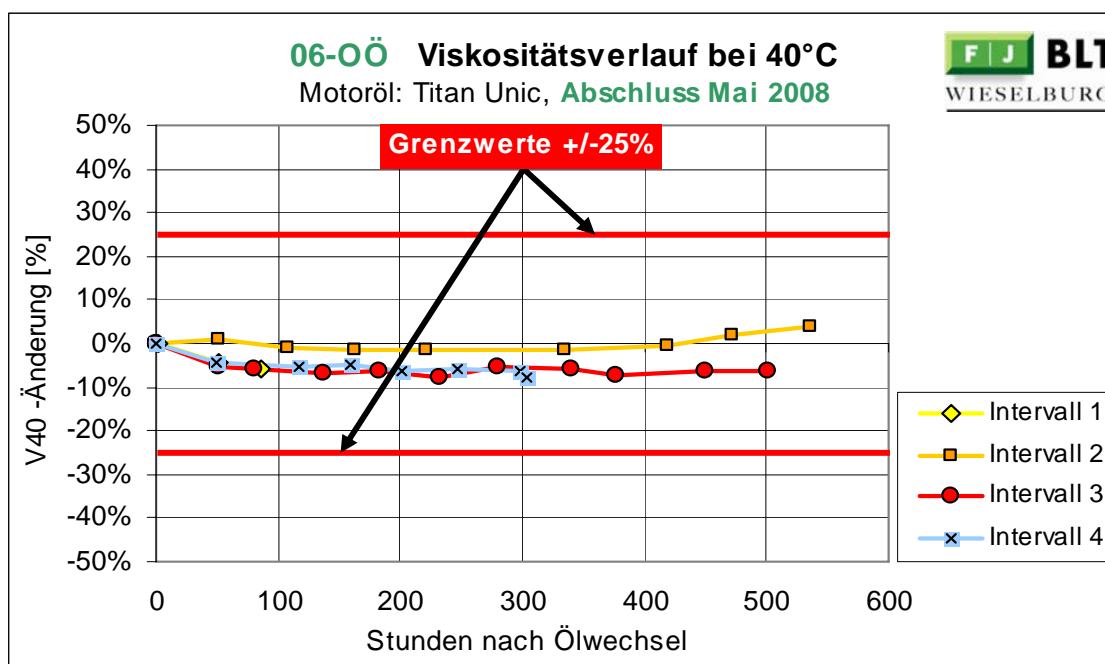


Abbildung 96: 06-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C



Der Verlauf der Viskosität bei 40°C war über die Ölwechselintervalle mit einem maximalen Abfall von 8% der Altölprobe im Vergleich zur 5-min-Probe sehr gleichmäßig. Es gab keine auffälligen Schwankungen, der Grenzwert von +/- 25% wurde durchgängig eingehalten. Noch homogener verliefen die Viskositätswerte bei 100°C mit einem maximalen Abfall von 6%.

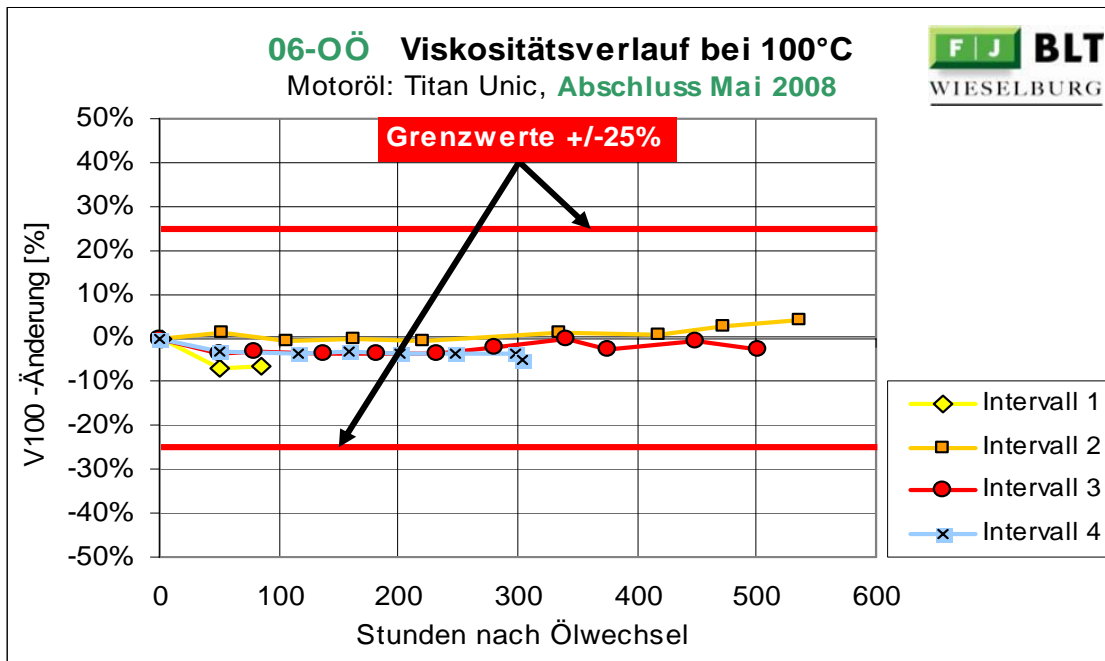
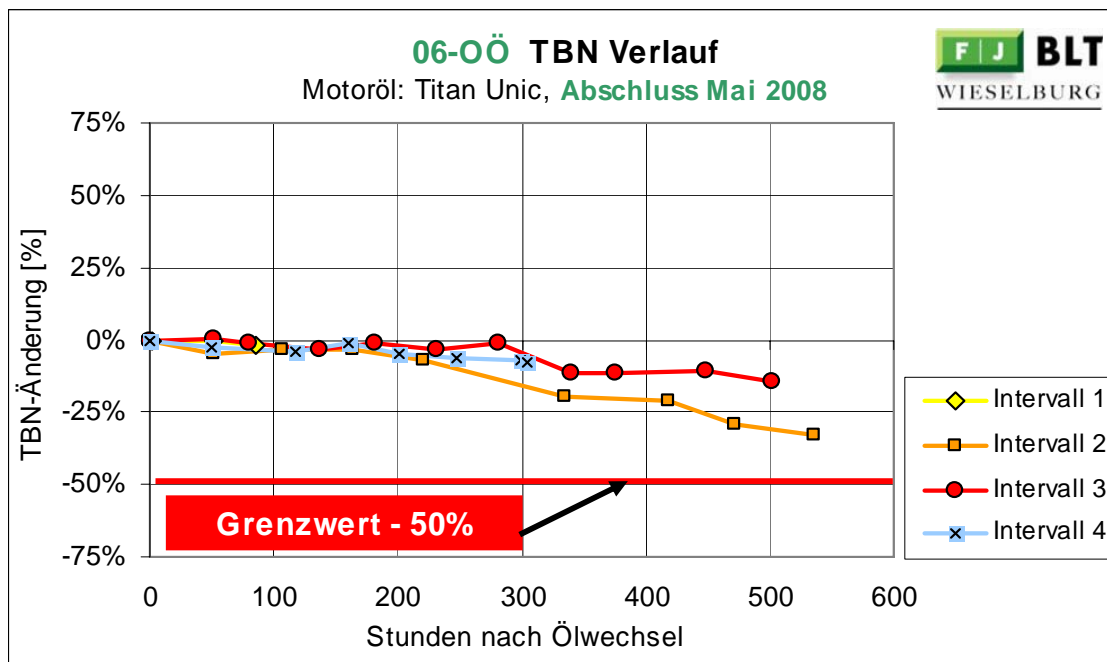


Abbildung 97: 06-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

Bei der Total Base Number wurde der Grenzwert eines maximalen Abfalls von 50% ebenfalls eingehalten. Ab einer Intervalllänge von 250 bis 300 Bh verstärkte sich die Abnahmetendenz. Das Intervall 3 mit über 500 Betriebsstunden Einsatz verzeichnete somit bereits einen Abfall der TBN von über 30%.





**Abbildung 98: 06-OÖ Änderung der Total Base Number**

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 13 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt, sowie auf den Gehalt von Verschleißmetallen überprüft wurden.

Der Grenzwert der Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh wurde durchgehend eingehalten. Die Gehalte der Verschleißelemente Aluminium, Kupfer und Chrom waren bei der Nachweisgrenze.

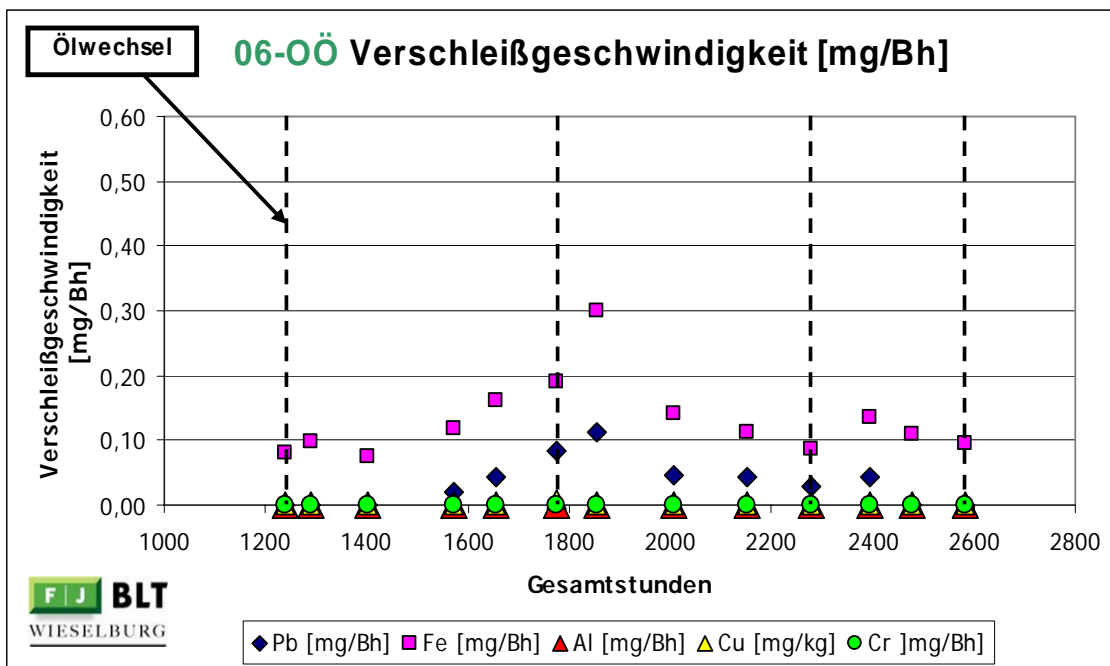


Abbildung 99: 06-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Weiters war der Russgehalt bei allen Wechselintervallen sehr gering. Im Gegensatz dazu wurde der Grenzwert von maximal 15% Rapsöleintrag im Intervall 2 einmal knapp überschritten.

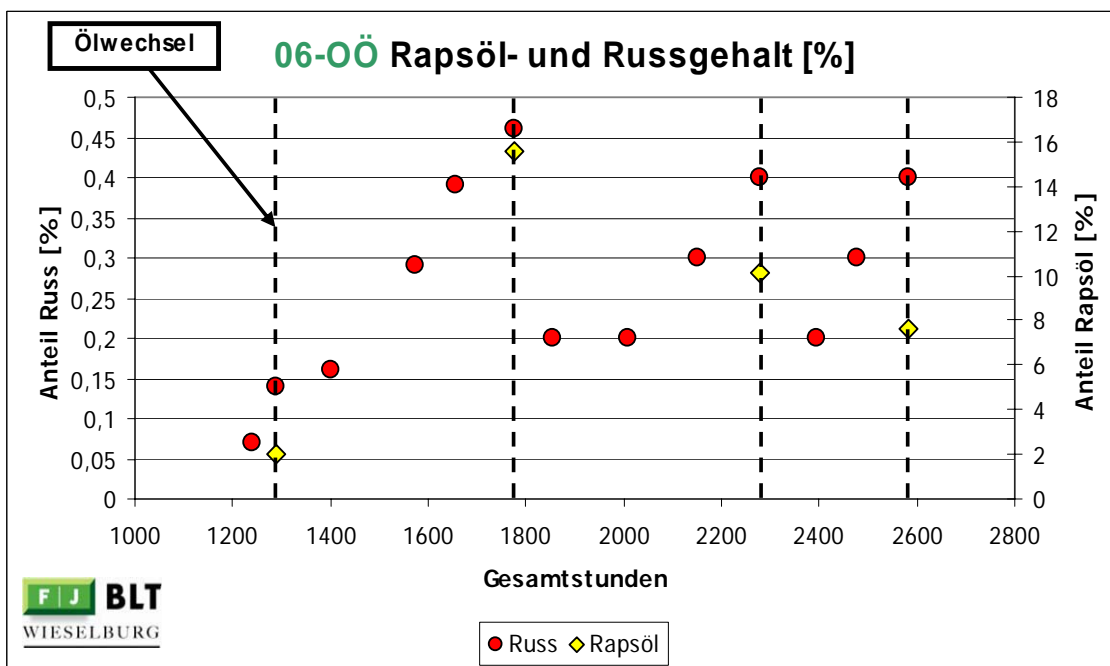


Abbildung 100: 06-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben



### **Kommentar Fa. Fuchs**

Über alle Intervalle hinweg ist bei den meisten Parametern ein eindeutiger und unkritischer Trendverlauf zu erkennen. Bei den Verschleißelementen ist Blei wiederum als kritisch anzusehen. Bei fünf von neun untersuchten Proben wurde der festgelegte Grenzwert von 10 mg/kg überschritten, im extremsten Fall um fast das 4,5 fache. Ein Trendverlauf ist hier nicht zu erkennen. Der Kraftstoffeintrag in das Öl liegt bei den untersuchten Proben unterhalb der festgelegten Grenze. Ein Trendverlauf ist ersichtlich, trotz der wenigen auf diesen Parameter untersuchten Proben. Mit steigender Laufzeit nimmt der Kraftstoffeintrag zu, wobei der Grenzwert von max. 15% in der Größenordnung von etwa 500 Betriebsstunden erreicht wird. Der Russgehalt liegt durchweg auf einem sehr niedrigen Niveau; der Verlauf der Viskositäten, TBN und Additive ist unauffällig.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden zehn Kraftstoffproben aus dem Lagertank, 12 Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) geforderten Grenzwerten verglichen. Nachfolgend sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht der geforderten Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen der Lagertankproben treten bei den Parametern Oxidationsstabilität und Wassergehalt auf. Beim Parameter Gesamtverschmutzung kam es bei vier von elf untersuchten Proben zu zum Teil dramatischen Grenzwertüberschreitungen. Beim Parameter Neutralisationszahl kam es über die Projektlaufzeit lediglich zu einer Grenzwertüberschreitung. Die Untersuchungsergebnisse bei den Parametern Dichte, Viskosität und P-Gehalt gaben nie einen Grund zur Beanstandung.

Tabelle 24: 06-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
09.06.2004		35,56	44,93	1,79	6,22	3,90	0,078
30.05.2005	919	34,39	9,25	1,58	2,17	5,44	0,079
12.09.2005	916	34,49	24,23	2,14	2,93	7,17	0,089
12.12.2005	917	34,87	37,80	0,93	5,23	6,99	0,076
23.03.2006	915	34,61	49,65	0,92	4,75	1,76	0,062
11.07.2006	920	34,82	11,00	0,98	3,02	6,74	0,100
04.10.2006	921	34,78	8,55	1,12	3,25	6,19	0,068
28.03.2007	919		8,08	0,96		5,55	0,055
11.05.2007	919	35,51	12,40	0,77	4,62	4,09	0,076
20.09.2007	920		n.f.	0,68		3,35	0,060
09.04.2008	904	34,74	42,86	0,62	4,41	3,65	0,058

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Analog zu den Lagertankproben traten bei den Proben aus dem Traktortank vor allem Überschreitungen des Grenzwertes beim Parameter Wassergehalt auf. Die Grenzwertüberschreitungen beim Parameter Gesamtverschmutzung traten weniger häufig als bei den Lagertankproben auf.

Tabelle 25: 06-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
12.08.2004	915	35,25	55,74	1,81	10,40	0,078	2
14.11.2004	919			1,67	7,59	0,082	0
24.02.2005	918	36,27	11,83	1,11	4,14	0,072	1
30.05.2005	919	34,44	4,22	1,58	6,07	0,078	0
12.09.2005	915	33,68	28,70	2,08	7,44	0,087	2
12.12.2005	917	34,12	19,20	0,93	6,99	0,071	1
23.03.2006	914	34,53		1,05	4,48	0,065	3
11.07.2006	919	34,59	6,38	1,49	7,92	0,100	0
04.10.2006	919	32,57	20,70	1,02	6,35	0,064	0
28.03.2007	919		10,20	0,76	3,68	0,057	0
11.05.2007	919	35,46	19,20	0,75	5,05	0,074	0
20.09.2007	920		13,36	0,82	1,97	0,057	0
09.04.2008	904	34,61	24,42	0,63	5,27	0,058	19

Eine erhöhte Neutralisationszahl konnte auf die bereits festgestellte Grenzwertüberschreitung der entsprechenden Probe aus dem Lagertank zurückgeführt werden.



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Durch die Eintragungen im Traktortagebuch sind über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren 1.069 Betriebsstunden mit Rapsöl dokumentiert.

Insgesamt wurden laut den Eintragungen 7.196 Liter Rapsöl und 15 Liter Diesel getankt. Dies ergab einen durchschnittlichen Verbrauch von knapp 7 Litern/TMh. Der Einsatzbereich lag hauptsächlich im normalen und leichten Lastbereich. Die Auswertungen dieses Traktortagebuchs beruhen auf Eintragungen von 219 Tagen.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Diese Aufzeichnungen stellten neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis zur Beurteilung des Fahrbetriebes dar.



**Traktortagebuch**

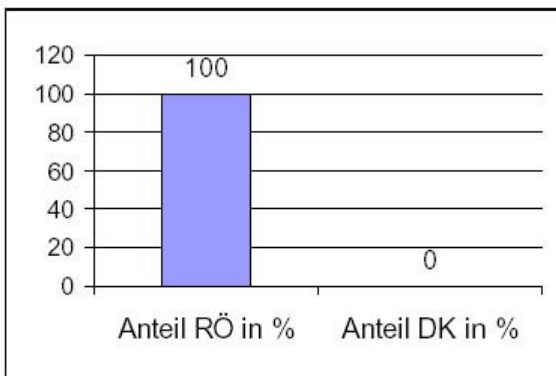
Fahrzeug: 06 Fendt Vario 410



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 09. Jun. 04 bei TMh: 1154,3  
 Letzter Eintrag 21. Dez. 06 bei TMh: 2222,8 TMh lt. Traktortagebuch **1068,5**

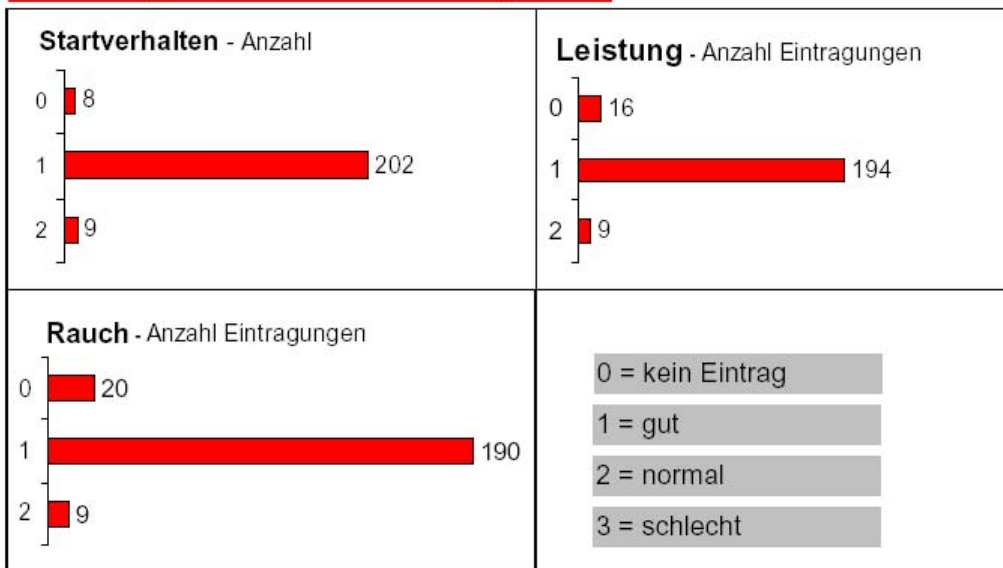
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 219



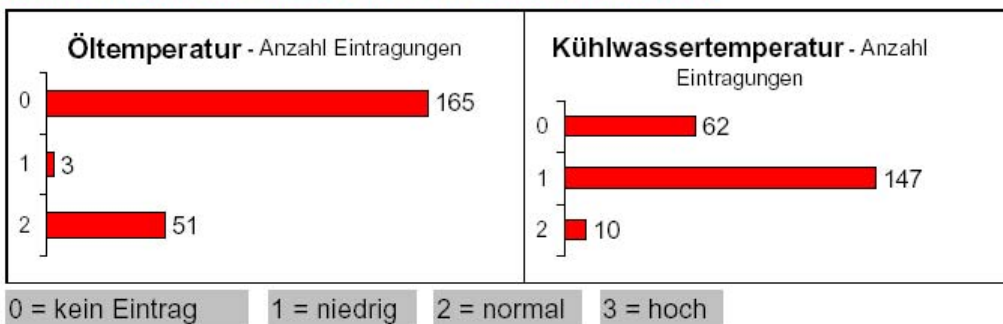
Tankmengen:

Diesel in l: 15  
 Rapsöl in l: 7196  
 durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**6,75**

Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



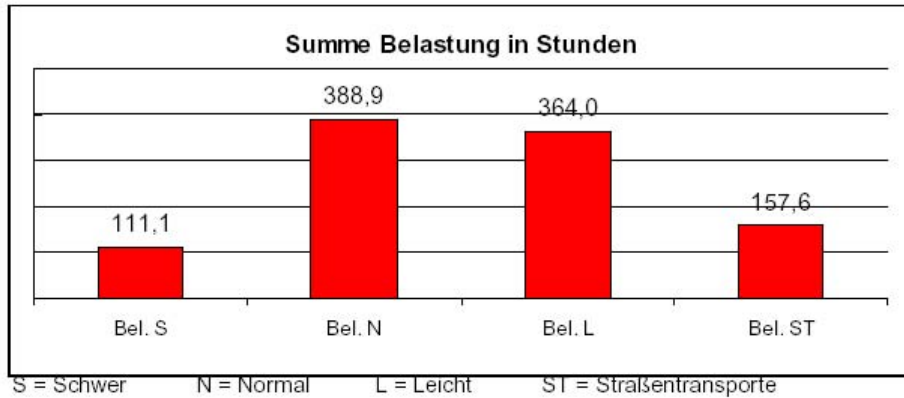


Traktortagebuch

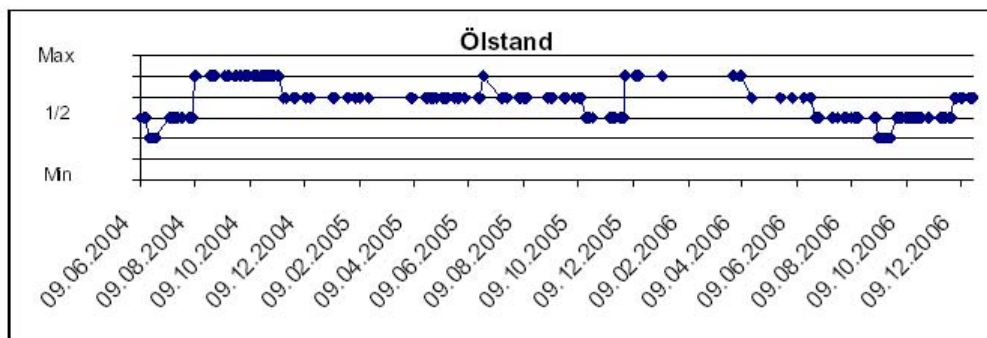
Fahrzeug: 06 Fendt Vario 410



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf





## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende einen etwas geringeren Druck. Der Druckverlust im Brennraum veränderte sich ebenfalls nur geringfügig. Die Einspritzdüsen wurden vom Umrüstbetrieb auf einen Öffnungsdruck von 270 bar eingestellt und zeigten nur einen minimalen Anstieg.

**Tabelle 26: 06-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	34	30	10	10	270	270	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	32	30	11	16	270	275	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	34	30	10,5	12	270	275	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	33	31	10,5	7	270	275	i.O.	i.O.	Düse 4

i.O.....in Ordnung

Im Schaftbereich der Düsen war teilweise eine dicke Belagkruste vorhanden. Die Düsen spitzen waren ebenfalls verkrustet. Die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 101: 06-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Der Zylinderkopf war mit einem schwarzen Belagsfilm versehen und wies in den Randbereichen teilweise eine dünne Kruste auf. In der Vertiefung vor den Ventilsitzen war ebenfalls teilweise eine Kruste vorhanden.

Die Einlassventile wiesen einen geringen krustenartigen Belag auf. Dieser erstreckte sich vom Ventilteller bis hin zum Schaft und war teilweise abgelöst. Die Auslassventile sind lediglich geschwärzt und wiesen keinen Belag auf. Ein Auslassventil von Zylinder 4 war sehr schwergängig.



Abbildung 102: 06-OÖ Zylinderkopf



Abbildung 103: 06-OÖ Einlassventile



Abbildung 104: 06-OÖ Auslassventile

Bei allen Zylindern war der Feuerstegbereich klar abgegrenzt. Im Feuerstegbereich war ein schwarzer Belag vorhanden, welcher bei den Zylindern 1 und 2 teilweise abgelöst war. Die Honspuren der Laufbüchsen waren bei allen Zylindern deutlich sichtbar. Zylinder 1 wies leichte Schleifspuren vom Koks auf, jedoch keine Riefen. In der Laufbüchse des Zylinders 2 war eine leichte Spiegelbildung ersichtlich und mehrere kleine Riefen vom Feuerstegbereich bis zur halben Hublänge vorhanden.



Abbildung 105: 06-OÖ Zylinderlaufbüchse

Die Kolbenböden waren mit einem schwarzen schmierigen Belag versehen, welcher an den Randbereichen teilweise in eine dünne Kruste überging.



Abbildung 106: 06-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 410 wurde im Mai 2005 bei einer bisherigen Laufleistung von 1153 Traktormeterstunden von der Fa. Hausmann für den Betrieb mit Rapsöl ausgerüstet. Der Traktor wurde im Rahmen des Projektes insgesamt 1503 Traktormeterstunden mit diesem 1-Tank Umrüstsystem betrieben.

Während des gesamten Versuchszeitraumes waren keine Störungen zu verzeichnen.

Leistungsmessungen zu Projektbeginn und –ende mit Dieselmotorkraftstoff und Rapsöl zeigten kaum Veränderungen. Eine geringe Leistungsabnahme konnte lediglich bei Rapsölbetrieb festgestellt werden. Der Kraftstoffverbrauch änderte sich analog zur Leistung.

Die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Rapsölbetrieb deutlich niedriger als bei Dieselmotorkraftstoffbetrieb. Über die Laufzeit nahmen die Kohlenmonoxidemissionen bei beiden Kraftstoffen zu. Die gemessenen Kohlenwasserstoffemissionen verringerten sich über die Laufzeit bei Rapsölbetrieb, erhöhten sich leicht bei Dieselmotorkraftstoffbetrieb. Typischerweise waren die Stickoxidemissionen bei Dieselmotorkraftstoffbetrieb niedriger als bei Rapsöl. Hinsichtlich der Partikelemissionen wies dieser Traktor bei beiden Kraftstoffen die geringsten Messwerte auf.

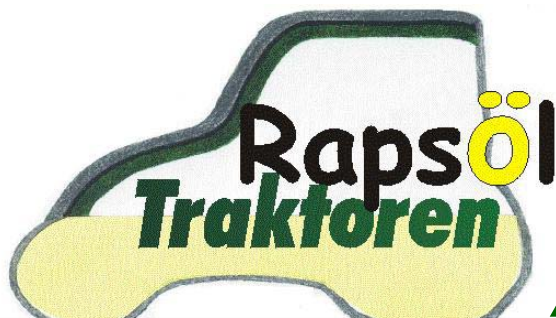
Die Motorölwechselintervalle verliefen durchgehend homogen, es wurden nur geringe Schwankungen der Viskosität festgestellt. Die Änderungen der Total Base Number lagen innerhalb des hierfür vorgesehenen Limitwertes einer maximalen Abnahme von 50% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe. Bei den Verschleißelementen und beim Russgehalt gab es keine Grenzwertüberschreitungen. Der vorgesehene Limitwert eines maximalen Rapsöleintrages von 15% wurde einmal überschritten.

Die abschließende Motorenöffnung zeigte einen zufrieden stellenden Zustand des Brennraumes. Die Einlassventile waren nur geringfügig belegt. Ein Auslassventil von Zylinder 4, welches sehr schwergängig war, stellte jedoch einen Mangel dar.



07-0Ö

07-0Ö



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Schäffer Hoftrac 870 T</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Mai 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.901 Betriebsstunden</b>



**Fahrzeugbeschreibung**

<b>Fahrzeugart</b>	Hoftrac
<b>Fahrzeugmarke</b>	Schaffer 870 T
<b>Motortype</b>	V3300TE
<b>Erstmalige Zulassung</b>	-----
<b>Motorhersteller</b>	Kubota TD
<b>Motor Nr.</b>	2N7608
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	13,2 Liter
<b>Nennleistung</b>	63 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2600 min -1
<b>Hubraum</b>	3318 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	98 x 110 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	
<b>Einspritzpumpe</b>	Reihenpumpe Nr. 1C040-541935
<b>Einspritzdruck</b>	13,73 – 14,71 MPa
<b>Kraftstofftank</b>	90 Liter
<b>Eigengewicht</b>	6000 kg

**Untersuchungszeitraum**

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Mai 2004
<b>bei TMh</b>	109
<b>Enduntersuchung</b>	Juni 2008
<b>bei TMh</b>	2009

**Umrüstung**

<b>Umrüstsystem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Martin Graml





## 1. Leistungs- und Emissionsmessung

Beim Traktor 07-OÖ handelt es sich um einen Hoftrac. Dieser verfügt über keine Zapfwellenvorrichtung, folglich konnte keine Leistungs- und Emissionsmessung am Prüfstand des FJ-BLT Wieselburg durchgeführt werden.

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Plantomot von der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 250 Betriebsstunden, diese Werte können auf Empfehlung des Umrüsters beibehalten werden.

Während der Projektlaufzeit wurden fünf Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 299 TMh, sowie ein Intervall zu 435 TMh untersucht. Von 41 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C analysiert und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 17% der je 50 TMh zu ziehenden Proben wurden vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

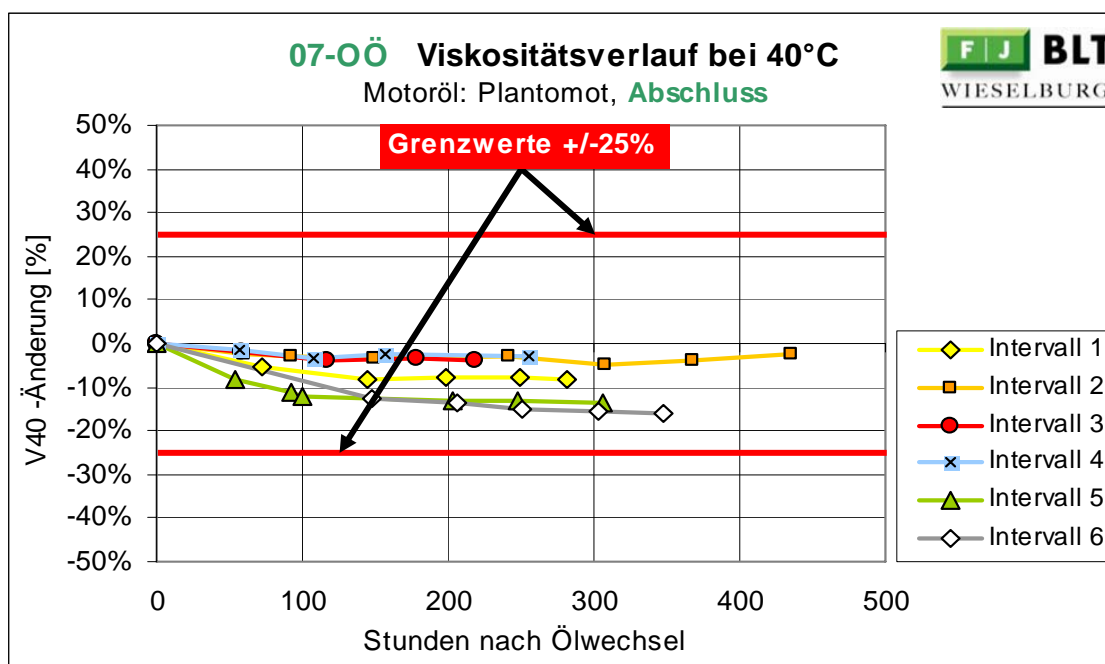


Abbildung 107: 07-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Der Verlauf der Untersuchungsergebnisse der Viskosität bei 40°C war über die Intervalle gleichmäßig mit einer maximalen Abnahme von 16% im Intervall 6. Etwas größere Schwankungen wurden mit einer maximalen Abnahme von 18% bei der Viskosität bei 100°C festgestellt. Insgesamt blieben die Änderungen der Viskositäten jedoch bei allen Intervallen innerhalb der festgelegten Grenzwerte.

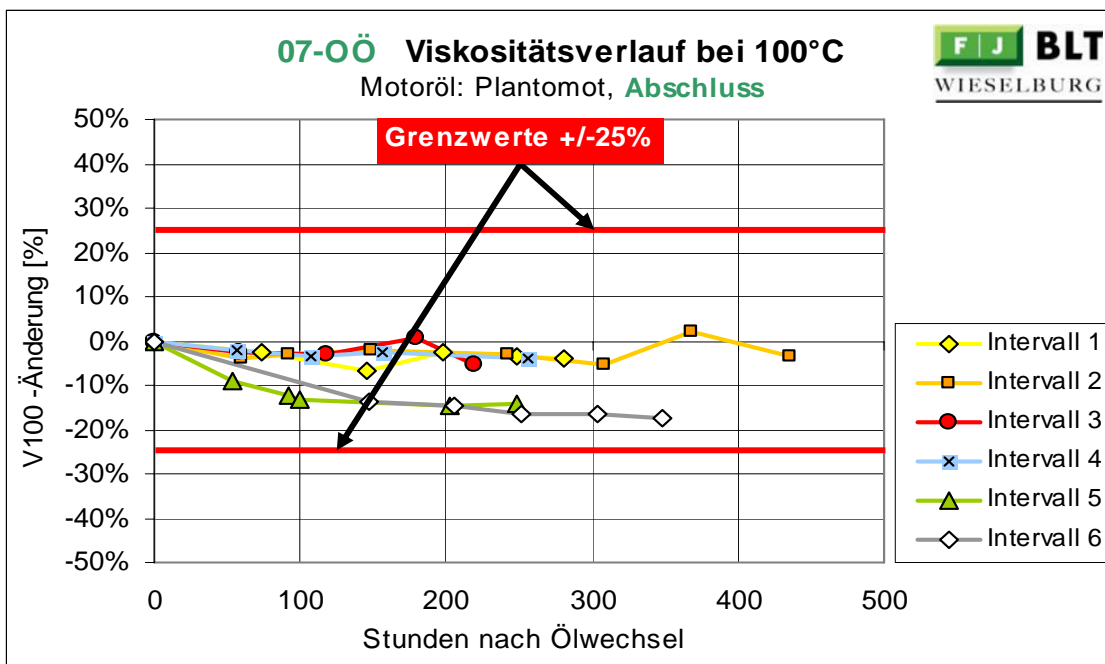


Abbildung 108: 07-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

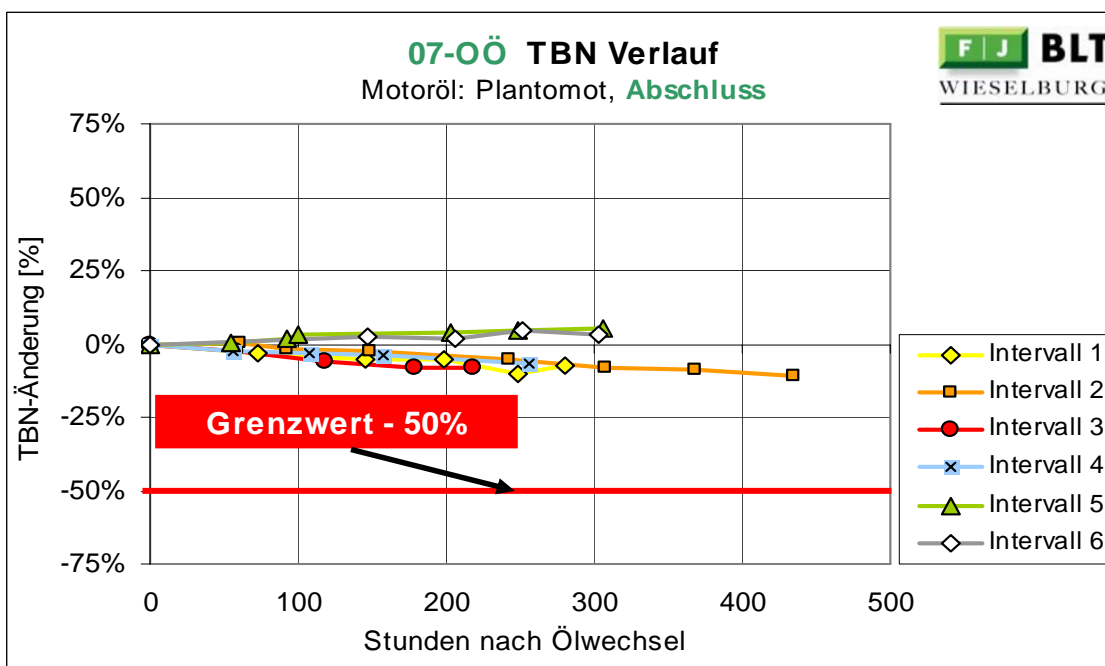


Abbildung 109: 07-OÖ Änderung der Total Base Number



Die Total Base Number nimmt typischerweise mit zunehmender Ölalterung ab. Die TBN-Untersuchungsergebnisse zeigten einen sehr stabilen Verlauf. Die maximale Abnahme von 11% trat im Intervall 2 auf.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors wurden 16 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese auf den Russgehalt, sowie auf den Gehalt an Verschleißelementen untersucht wurden. Es konnten keine auffälligen Schwankungen festgestellt werden. Sowohl der Limitwert von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde Verschleißgeschwindigkeit als auch jener von maximal 3% Russeintrag wurden durchgehend eingehalten.

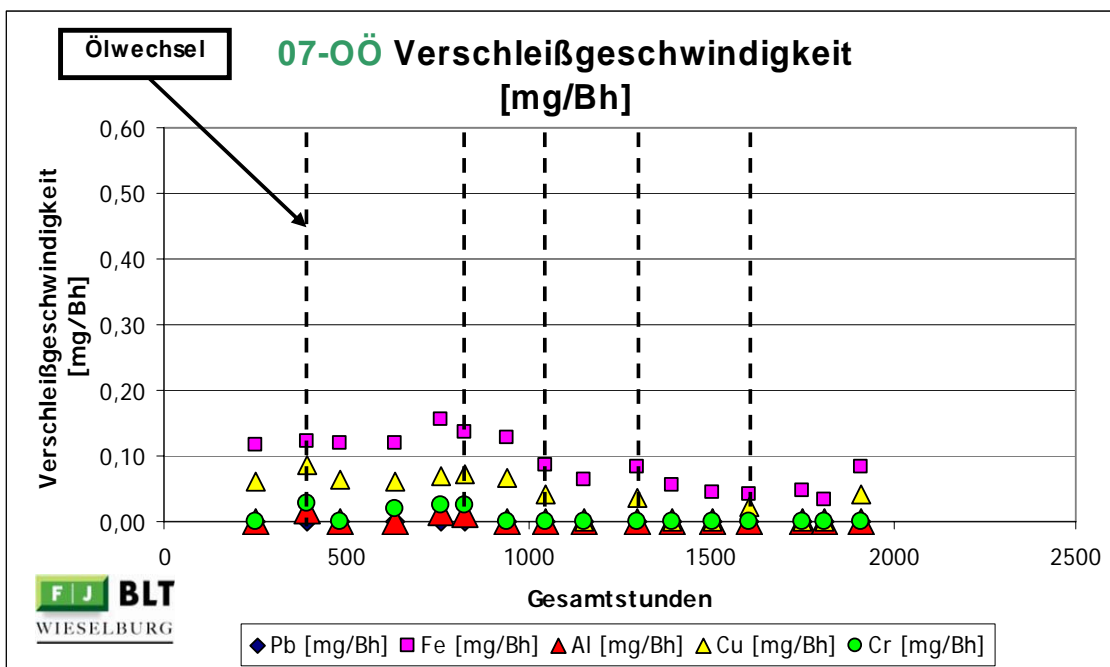


Abbildung 110: 07-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

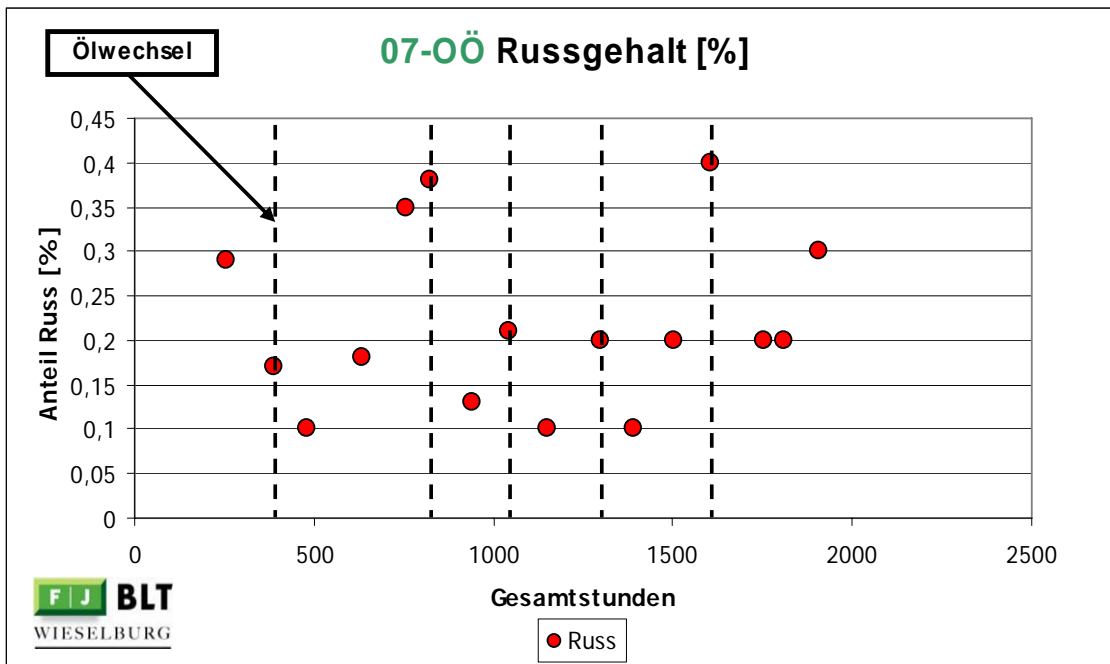


Abbildung 111: 07-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

**Kommentar Fa. Fuchs**

Hinsichtlich der Verschleißgeschwindigkeit liegen alle untersuchten Proben unterhalb der festgelegten Grenze von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde. Dennoch kommt es bei Kupfer zu einer Überschreitung des vereinbarten Maximalwertes von 10 Milligramm je Kilogramm, die von der Tendenz meist bei höheren Laufzeiten oberhalb 200 Betriebsstunden auftritt. Ansonsten sind die physikalisch-chemischen Parameter als unkritisch anzusehen.



### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammt aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 10 Kraftstoffproben aus dem Lagertank, 11 Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht den Anforderungen der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### **Kraftstoffproben aus dem Lagertank**

Grenzwertüberschreitungen gab es hauptsächlich bei den Parametern Oxidationsstabilität, Wassergehalt und Gesamtverschmutzung. Ein hoher Wassergehalt und eine zu geringe Oxidationsstabilität sind meist ein Indiz für eine unvorteilhafte Lagerung. Parallelen zu einem bereits hohen Wassergehalt der entsprechenden Proben aus der Ölmühle konnten nicht hergestellt werden.

Die Gesamtverschmutzung wurde bei den gezogenen Stichproben insgesamt dreimal überschritten, wobei dies zum Teil auf bereits überhöhte Werte der Proben aus der Ölmühle zurückgeführt werden konnte. Der Grenzwert der Neutralisationszahl wurde bei den untersuchten Lagertankproben nur einmal, hier aber deutlich überschritten.

Tabelle 27: 07-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
09.06.2004		35,30	42,17	1,69	6,73	4,10	0,082
16.02.2005	917	34,16	12,15	1,96		5,80	0,111
02.06.2005	918	34,43	55,80	3,67		5,55	0,089
12.09.2005	916	34,74	15,60	1,27	2,80	11,63	0,069
01.12.2005	916	34,91	21,65	1,02	2,12	7,15	0,067
29.03.2006	916	34,93	24,53	1,04		5,82	0,073
18.05.2006	917	34,95	27,28	1,09	3,47	5,90	0,087
07.09.2006	921	34,71	10,48	1,30	3,62	5,91	0,075
25.04.2007	919	35,45	18,70	0,80	2,00	6,47	0,051
28.06.2007	919	35,58	4,22	0,88	2,39		0,058

## Kraftstoffproben aus dem Fahrzeugtank

Die Grenzwertüberschreitungen bei den Fahrzeugtankproben konnten größtenteils auf die Qualität der Proben aus dem Lagertank zurückgeführt werden. Extreme Überschreitungen waren die Untersuchungsergebnisse beim Parameter Gesamtverschmutzung im September 2005 mit 43 mg/kg und Mai 2006 mit 89 mg/kg. Da der Analysenwert für die Gesamtverschmutzung im Lagertank im Mai 2006 den Grenzwert nur geringfügig überschritt, deutet dieses Ergebnis auf eine sekundäre Verschmutzung hin.

Tabelle 28: 07-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
12.08.2004	915	35,58	36,05	1,62	10,10	0,092	0
16.02.2005	916	33,18	26,57	1,00	6,16	0,072	2
02.06.2005	912	28,96	11,35	3,36	3,86	0,071	7
12.09.2005	913	31,30	43,00	1,29	10,93	0,071	4
01.12.2005	910	29,36	19,83	0,98	5,71	0,063	7
29.03.2006	914	32,16	20,95	1,01	5,65	0,065	3
18.05.2006	916	33,24	89,05	1,06	4,34	0,086	2
07.09.2006	920	33,62	8,55	1,29	7,79	0,071	2
29.11.2006	917	32,69	4,00	1,26	10,07	0,071	3
25.04.2007	916	31,90	8,02	0,77	4,19	0,048	4
28.06.2007	918	33,80	18,04	1,05		0,057	3



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Über die Aufzeichnungen des Traktortagebuches wurden 1.421 Betriebsstunden mit Rapsölbetrieb über einen Zeitraum von drei Jahren dokumentiert und ausgewertet.

Insgesamt wurden 4.517 Liter Rapsöl sowie 1.209 Liter Diesel getankt. Dies ergab einen durchschnittlichen Verbrauch von 4,03 Litern/TMh. Der Dieselanteil lag bei diesem Fahrzeug mit 2-Tank-System Umrüstung während der Projektlaufzeit bei 21%. Der Hoftrac wurde zum überwiegenden Teil im normalen Lastbereich eingesetzt. Die Auswertungen dieses Traktortagebuches beruhen auf Eintragungen von 256 Tagen.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Diese Aufzeichnungen stellten neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis zur Beurteilung des Fahrbetriebes dar.





**Traktortagebuch**

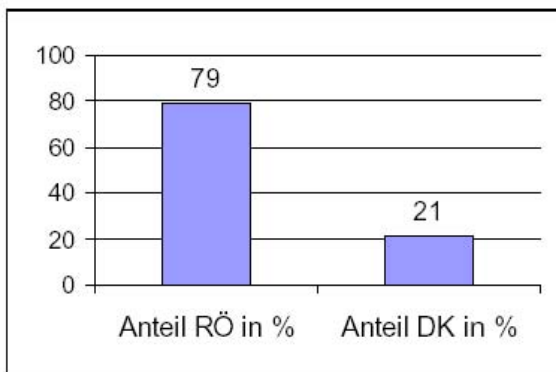
Fahrzeug: 07 Schäffer 870 T



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 16. Jun. 04 bei TMh: 124,26  
 Letzter Eintrag 25. Jun. 07 bei TMh: 1545,2 TMh lt. Traktortagebuch **1420,9**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 256

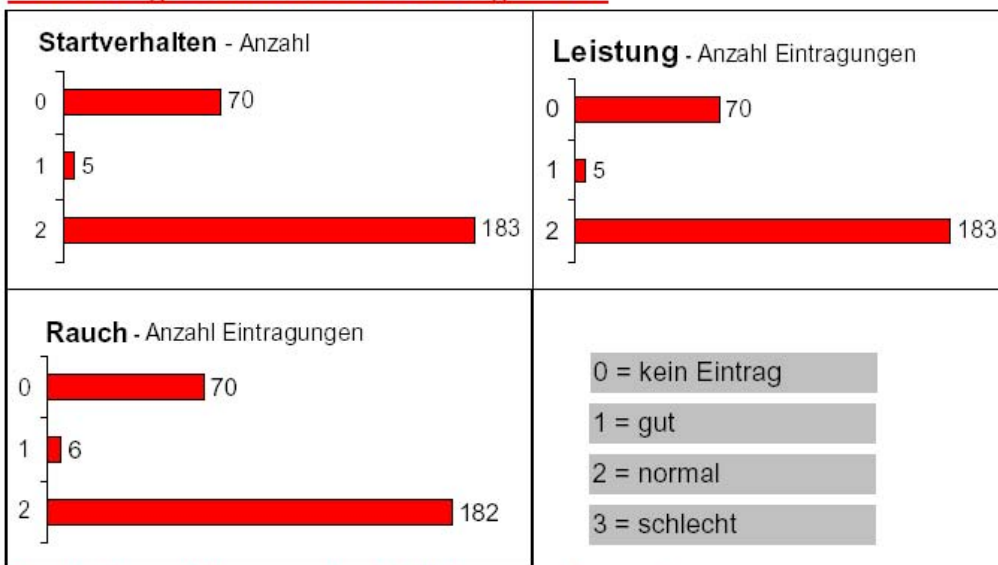


Tankmengen:

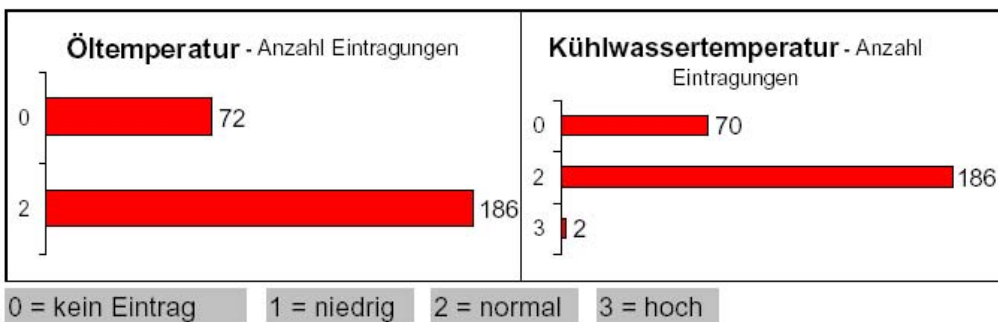
Diesel in l: 1209  
 Rapsöl in l: 4517

durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**4,03**

Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



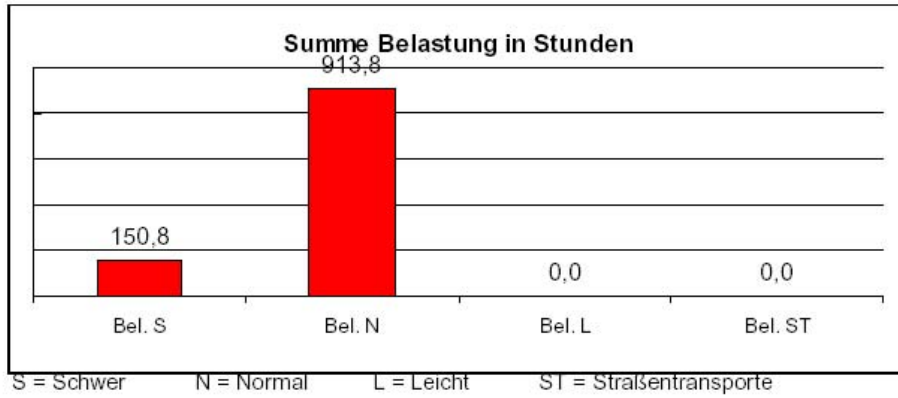


Traktortagebuch

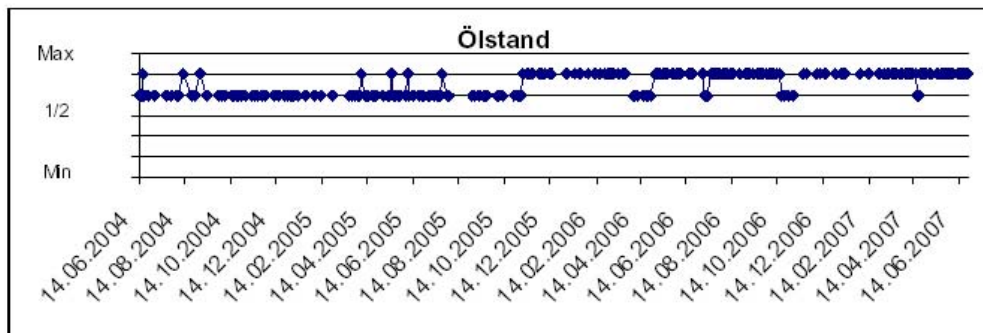
Fahrzeug: 07 Schäffer 870 T



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende nur eine geringfügige Veränderung. Die Ergebnisse der Druckverlustmessung im Brennraum lagen ebenfalls im Normalbereich. Der Düsenöffnungsdruck nahm bis auf Düse 4 um bis zu 10 bar ab.

**Tabelle 29: 07-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	34	32	8	7	145	135	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	34	32	8	12	145	135	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	34	32	7	18	140	135	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	34	32	7	16	140	155	i.O.	i.O.	Düse 4

i.O....in Ordnung

Die Einspritzdüsen wiesen eine geringe Verkrustung auf und zeigten insgesamt ein normales Erscheinungsbild.



Abbildung 112: 07-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Der Zylinderkopf war mit einem grauen Belag versehen, der in den Randbereichen des Brennraumes teilweise in eine Belagskruste überging. Im Bereich um die Vorkammer war der Belag etwas dicker und wies eine raue Oberfläche auf.



Abbildung 113: 07-OÖ Zylinderkopf

Die Einlassventile wiesen einen trockenen grau-schwarzen Belag im Übergang vom Ventilteller zum Schaft auf. Der Einlasskanal wies ebenfalls einen geringfügigen Belag auf. Auf den Auslassventilen war ein dünner schwarzer trockener Belag im Übergang von den Ventiltellern zum Schaft ersichtlich.



Abbildung 114: 07-OÖ Einlass- und Auslassventil

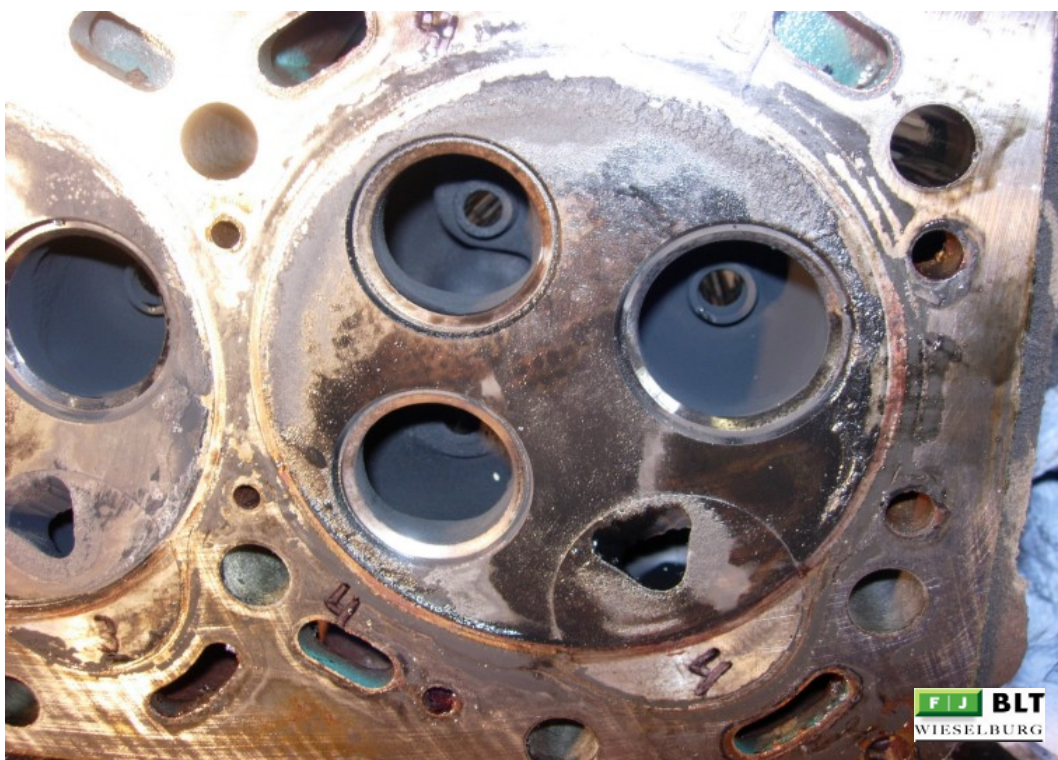


Abbildung 115: 07-OÖ Zylinderkopf mit ausgebauten Ventilen

Der Feuerstegbereich war bei allen Zylindern klar abgegrenzt und war mit einem schwarzen schmierigen Belag versehen. Der Belag konnte durch Wegwischen entfernt werden. In den Laufbüchsen war durchgängig eine leichte Spiegelbildung vorhanden.

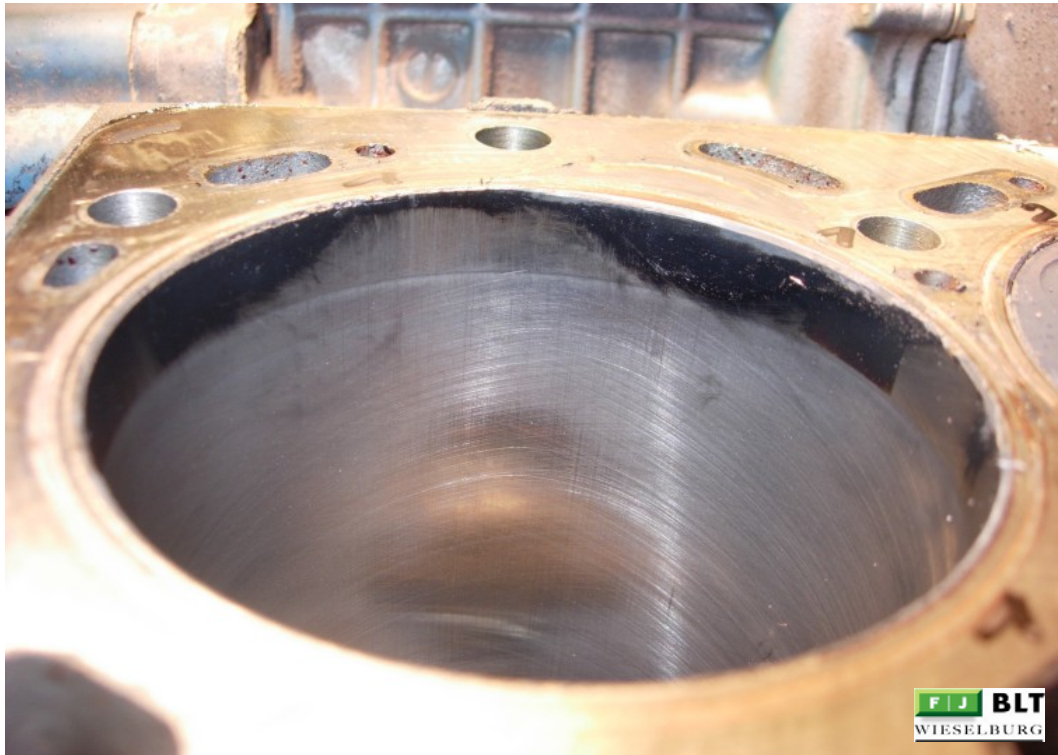


Abbildung 116: 07-OÖ Zylinderlaufbüchse

Die Kolbenböden waren mit einem schwarzen dünnen Belag versehen, der im mittleren Bereich in eine hellgraue Färbung überging. Am Rand war teilweise eine geringe Belagskruste vorhanden.

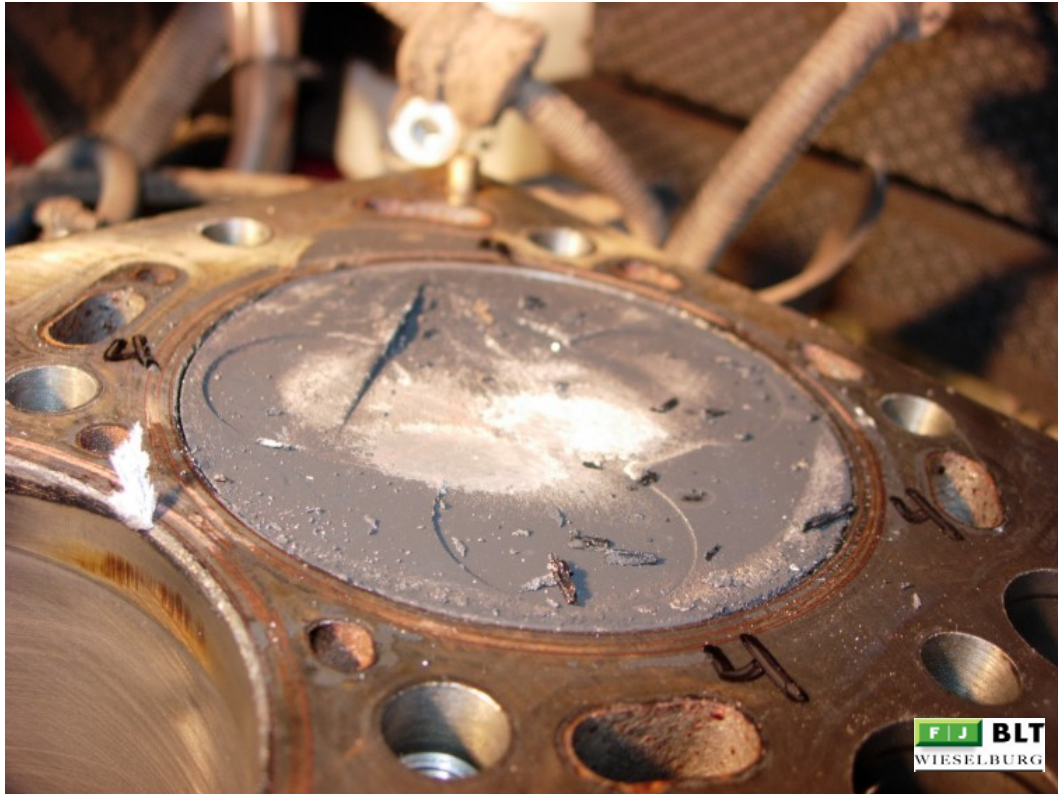


Abbildung 117: 07-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Schäffer Hoftrac 870 T wurde im Mai 2004 bei einer bisherigen Einsatzdauer von 108 Betriebsstunden von der Fa. Graml mit einem sogenannten Bioka 2 Tank Kraftstoffmanagement System ausgerüstet. Insgesamt wurde der Hoftrac 1901 Stunden mit diesem System betrieben.

Nach ca. 750 Einsatzstunden trat ein nicht näher spezifiziertes Problem der Mengenregelung der Einspritzpumpe auf, welches vom Hersteller auf Garantieleistung behoben wurde. In der Folge wurde die Temperatur der Kraftstoffvorwärmung erhöht und ein Wasserabscheider eingebaut.

Die Motorölanalysen zeigten ein durchgängig homogenes Bild. Es gab weder bei den Viskositäten und der Total Base Number noch hinsichtlich der Gehalte der Verschleißelemente und dem Russgehalt Überschreitungen des jeweiligen Grenzwertes.

Bei den Rapsölproben gab es vor allem bei den Parametern Wassergehalt, Gesamtverschmutzung und bei den Lagertankproben bei der Oxidationsstabilität mehrfache Beanstandungen. Zum Teil waren diese Überschreitungen auf mangelnde Auslieferungsqualität des Rapsöles in der Ölmühle zurückzuführen.

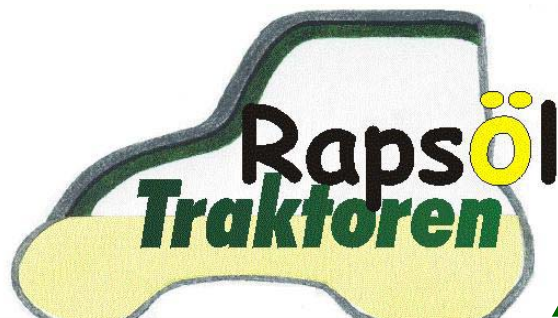
Die abschließende Motoruntersuchung zeigte einen der Einsatzzeit entsprechenden Zustand.





08-0Ö

08-0Ö



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>John Deere 6410</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Juni 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.887 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	John Deere 6410
<b>Motortype</b>	4045TL053
<b>Erstmalige Zulassung</b>	9.6.2000
<b>Motorhersteller</b>	John Deere
<b>Motor Nr.</b>	DC4045T590056
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	Ja
<b>Kühlung</b>	Wasser
<b>Ölfüllmenge</b>	12 Liter
<b>Nennleistung</b>	77 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2300min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	4525 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	106,5 x 127 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	17,8 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Lucas DES
<b>Einspritzdruck</b>	255 – 260 bar
<b>Kraftstofftank</b>	165 Liter
<b>Eigengewicht</b>	4277 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Juni 2004
<b>bei TMh</b>	2564
<b>Enduntersuchung</b>	Jänner 2008
<b>bei TMh</b>	5451,4

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Graml Zweitanksystem
<b>Umrüster</b>	Martin Graml

## 1. Leistungs- und Emissionsmessung

### Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Bereits bei der Anfangsmessung konnte bei Diesel und Rapsöl eine nahezu identische Leistungskurve beobachtet werden. Bei der Enduntersuchung stimmten die Leistungsmessungen mit Dieselkraftstoff und Rapsöl wiederum gut überein, jedoch auf einem im Vergleich zur Anfangsuntersuchung für Dieselkraftstoff um 12 % und für Rapsöl um 9 % verminderten Niveau.

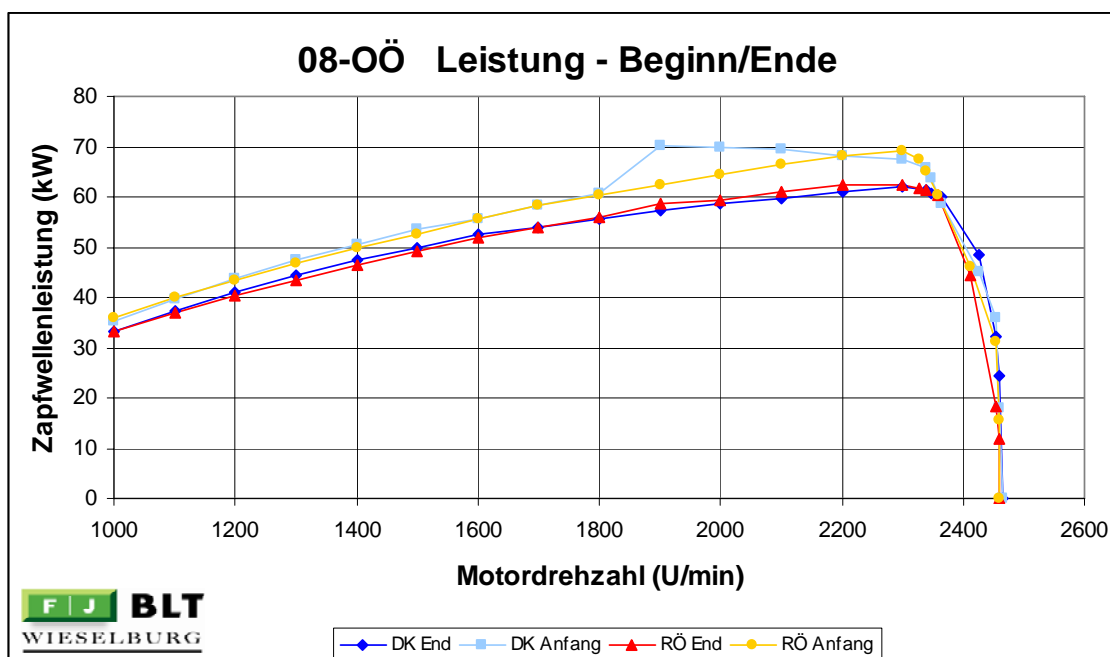


Abbildung 118: 08-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

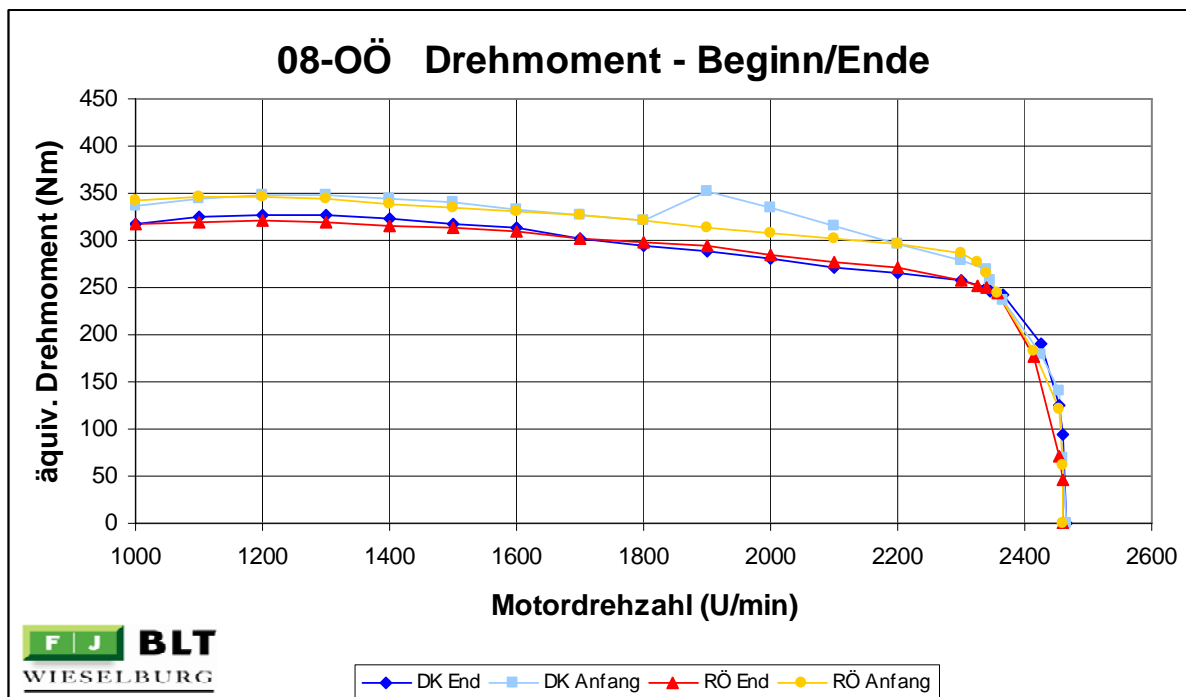


Abbildung 119: 08-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

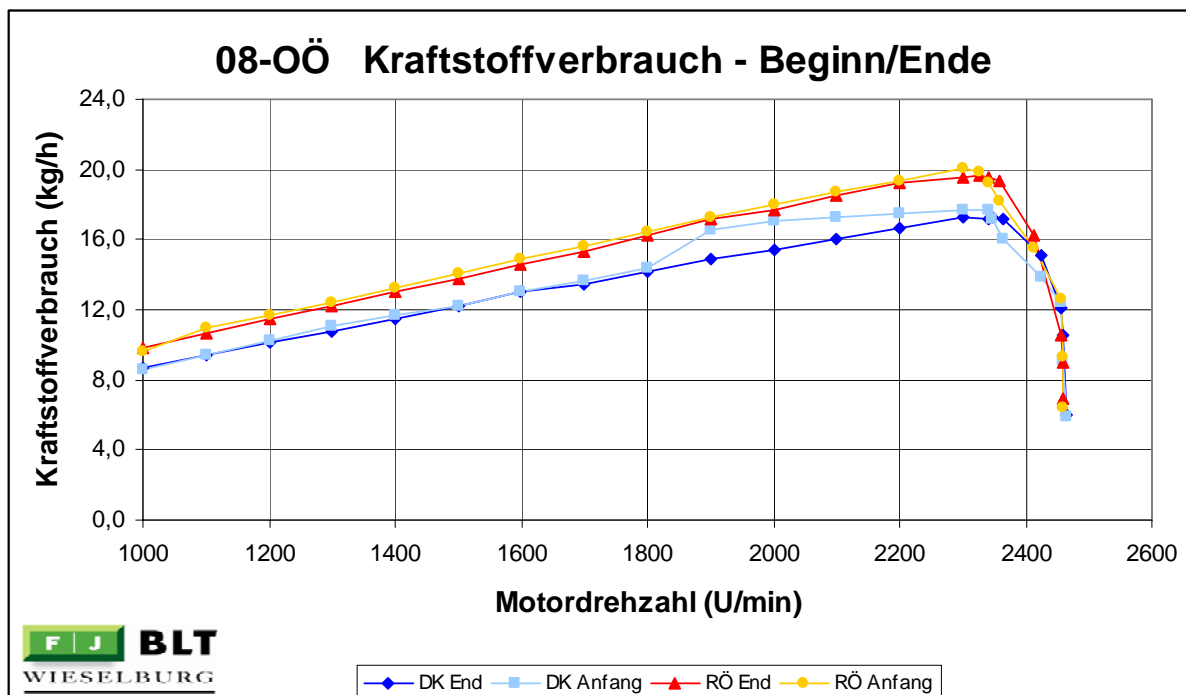


Abbildung 120: 08-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

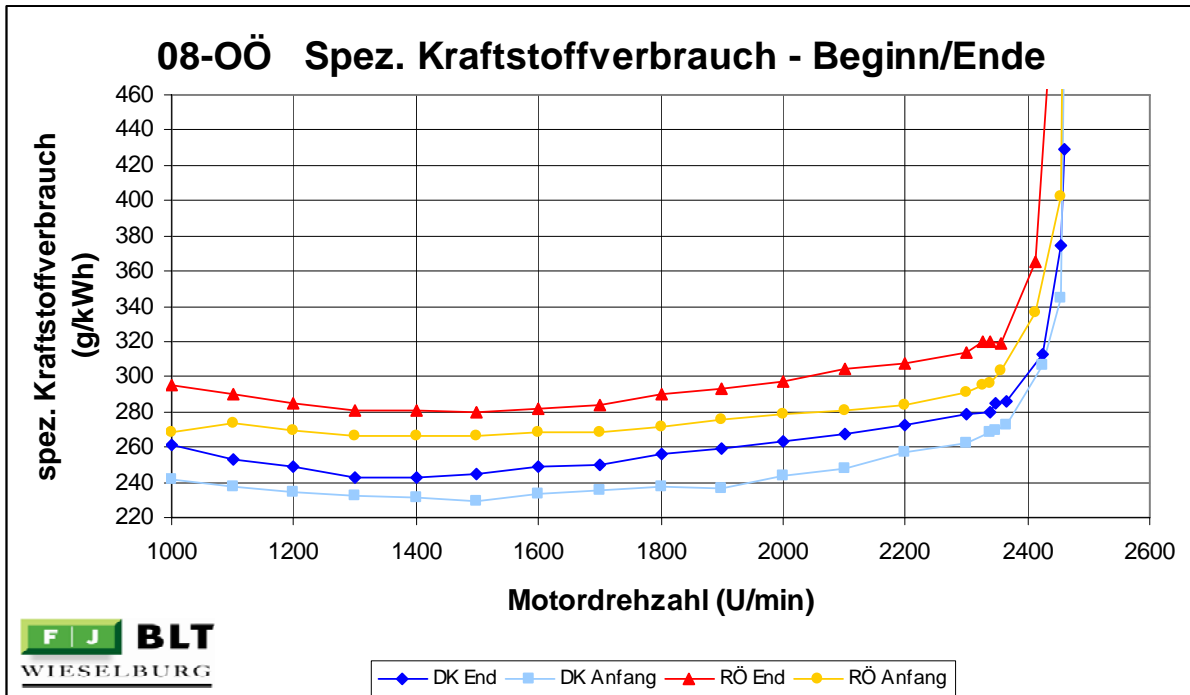


Abbildung 121: 08-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt eine Aufstellung der Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Bei der Messung zu Versuchsende konnte bei beiden Kraftstoffen ein deutlicher Anstieg verzeichnet werden.

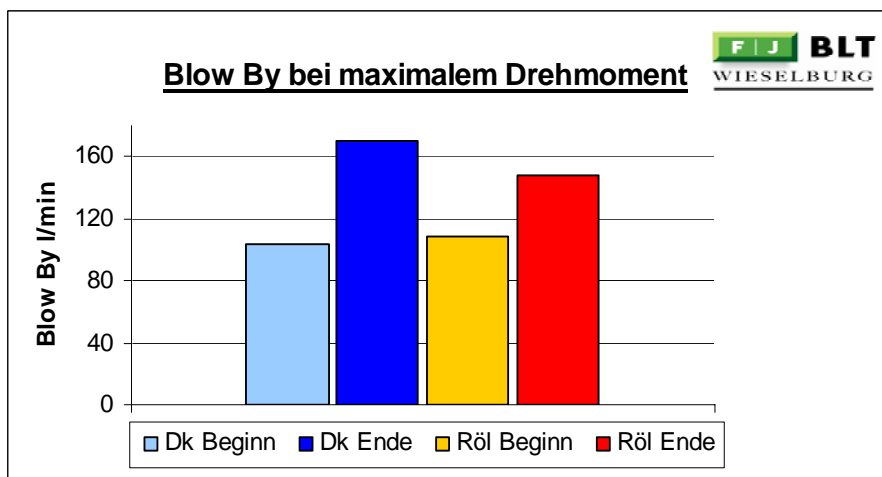


Abbildung 122: 08-OÖ Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment

## Emissionsmessung

Die Emissionsmessungen bei Versuchsbeginn zeigten bei Rapsölbetrieb eine Erhöhung der Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen gegenüber Dieselpetrieb. Die Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Rapsölbetrieb geringfügig geringer als bei Dieselpetrieb. Über die Laufzeit sind die Kohlenmonoxidemissionen bei beiden Kraftstoffen gestiegen, wobei bei Dieselpetrieb der Anstieg deutlich höher war. Die Stickoxidemissionen haben über die Laufzeit sowohl bei Diesel- als auch bei Rapsölbetrieb abgenommen. Eine leicht steigende Tendenz war bei den Kohlenwasserstoffen zu verzeichnen.

**Tabelle 30: 08-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende PÖL	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	02.12.2004	04.12.2007	01.12.2004	05.12.2007
CO	1,06	1,54	0,58	1,30
HC	0,29	0,31	0,33	0,49
NO <sub>x</sub>	13,88	13,08	12,90	11,50

## Partikelmessung

Neben der Emissionsmessung wurde im Rahmen der Enduntersuchung auch eine Partikelmessung mit dem „AVL Smart Sampler SPC 972“ durchgeführt, um zusätzlich Informationen über das Abgasverhalten zu erhalten. Hierbei wurden üblicherweise jeweils zwei Messungen mit Diesel und Rapsöl durchgeführt.

**Tabelle 31: 08-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung**

[g/kWh]	1. Messung	2. Messung	Datum
RÖ	0,340	0,290	04.12.07
DK	0,270	0,280	04.12.07

Untypischerweise waren bei diesem Traktor die Partikelemissionen bei Rapsölbetrieb höher als bei Dieselpetrieb. Die Werte an sich lagen im durchschnittlichen Bereich der im Rahmen des Projektes getätigten Partikelmessungen.

## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Universal HD SAE 15 W - 40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber halbiert.

Während des Beobachtungszeitraumes wurden 11 Intervalle zu einem Mittelwert von 246 TMh untersucht. Von 47 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C gemessen und ausgewertet und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde die Total Base Number (TBN) bei jeder Probe ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 60% der erforderlichen Proben wurden vom Betreiber nicht an das Labor übermittelt.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

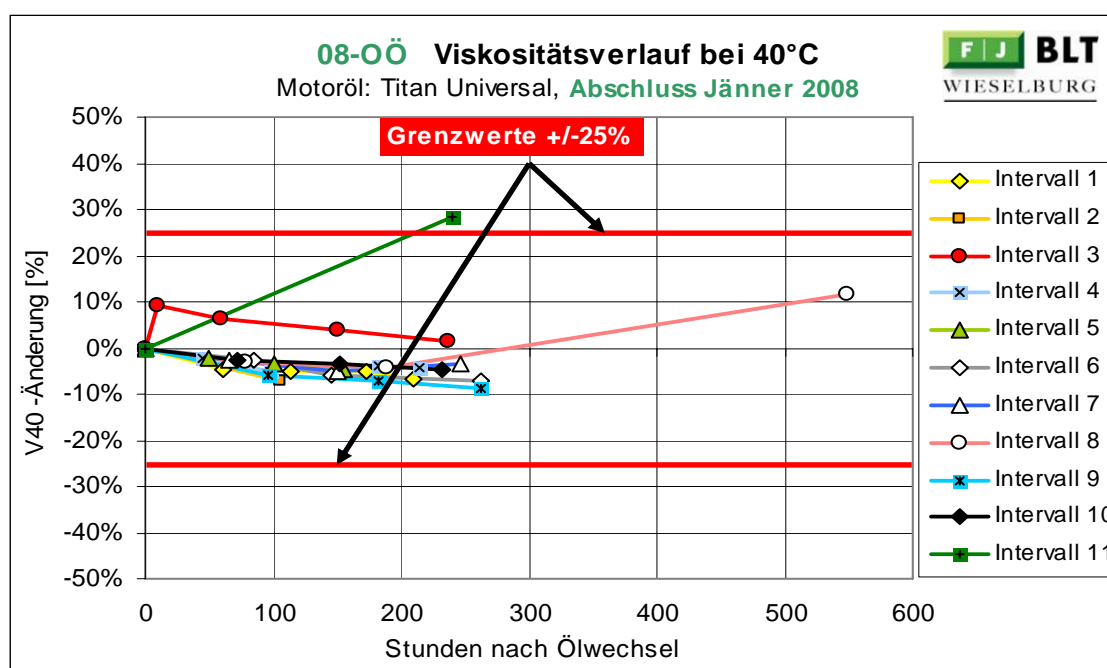


Abbildung 123: 08-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Mit Ausnahme der Intervalle 3 und 11 verliefen die Viskositätswerte bei 40°C sehr gleichmäßig. Beim Intervall 3 stieg die Viskosität bereits nach 10 Minuten Einsatz um ca. 10%, fiel danach aber wieder stetig bis zur Ölwechselprobe. Eine Grenzwertüberschreitung – Änderung der Viskosität um mehr als 25 % - war im Intervall 11 zu beobachten. Gerade bei diesem Intervall wurden jedoch lediglich die Frischölprobe und die Ölwechselprobe gezogen, sodass der Verlauf der Viskosität dazwischen nicht verifiziert werden konnte. Das Intervall 8 lief über 549 Traktormeterstunden mit einem Anstieg der Viskosität bei 40°C um 12%.

Auffälliger verliefen die Schwankungen der Viskosität bei 100°C. Das Intervall 3 verzeichnete hierbei nach 10 Minuten bereits einen Abfall von 18%, der sich bis zum Ölwechsel auf 22% vergrößerte. Mit einem Anstieg von 24,8% wurde der Grenzwert beim Intervall 11 zumindest erreicht. Die Viskosität des Intervalls 8 stieg bis zur Altölprobe um 14%, blieb somit deutlich unter dem Grenzwert von 25%. Abgesehen von kleineren Schwankungen war der Verlauf der übrigen Wechselintervalle gleichmäßig.

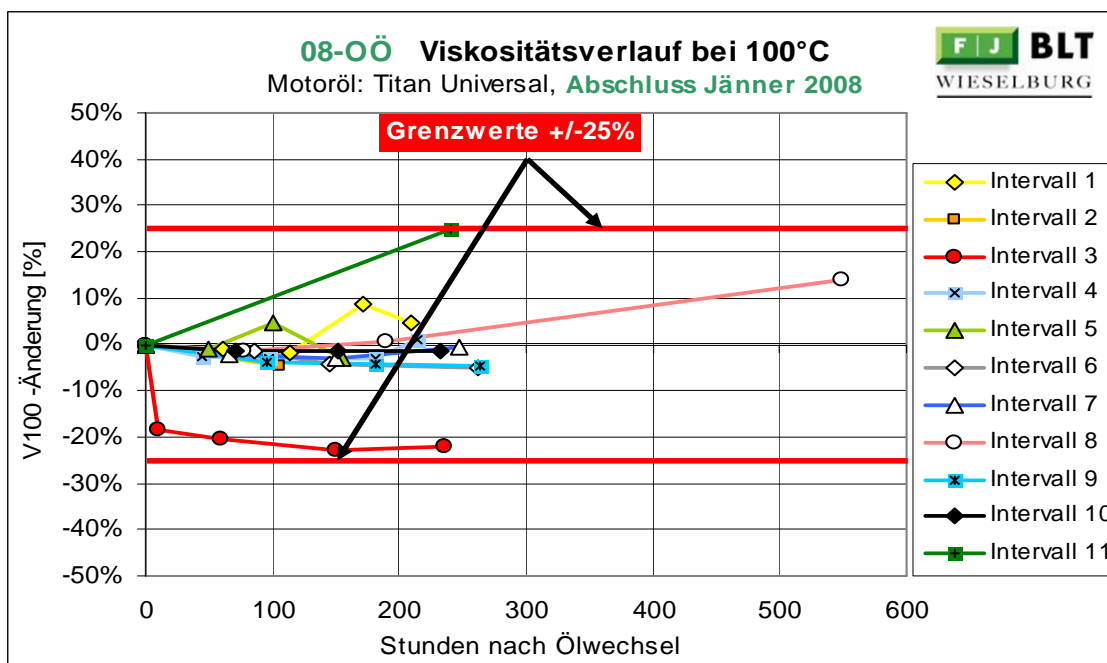
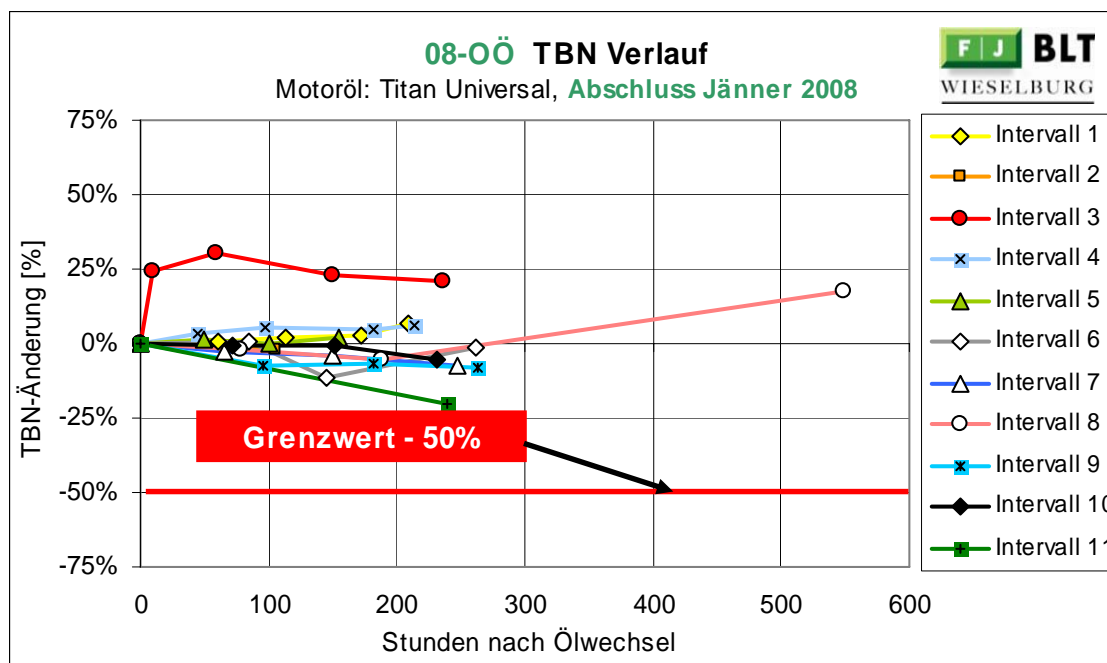


Abbildung 124: 08-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

Typischerweise ist der Trend der Total Base Number mit zunehmender Ölalterung abnehmend. Einen gegenläufigen Trend verzeichnete das Intervall 3, indem ein Anstieg der Total Base Number gleich zu Beginn des Ölwechselintervalls von bereits



25% beobachtet wurde. Im Intervall 11 wurde eine Abnahme um 24% festgestellt. Die TBN des Intervalls 8 stieg insgesamt um 18%. Insgesamt gab es keine bedenklichen grenzwertnahen Schwankungen bei den Verläufen der Total Base Number.



**Abbildung 125: 08-OÖ Änderung der Total Base Number**

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 19 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt, sowie auf den Gehalt an Verschleißelementen überprüft wurden.

Hinsichtlich der Verschleißelemente kam es jeweils zu einer Überschreitung bei Blei, und Eisen, sowie zu drei Überschreitungen beim Kupfergehalt, wobei dieser den Grenzwert von 0,5 mg/Bh mit 13,10 und 2,86 mg/Bh deutlich überschritt. Alle Überschreitungen traten innerhalb des Intervalls 3 auf, bei den übrigen Wechselintervallen lagen die Elemente jeweils in einem unauffälligen Bereich. Keine Auffälligkeiten gab es bei den Verschleißelementen Aluminium und Chrom.

Beim Russgehalt gab es keine Grenzwertüberschreitungen. Der Anteil von Rapsöl verlief mit einer Ausnahme ebenfalls unter der hier vorgesehenen Limitgrenze von maximal 15%.

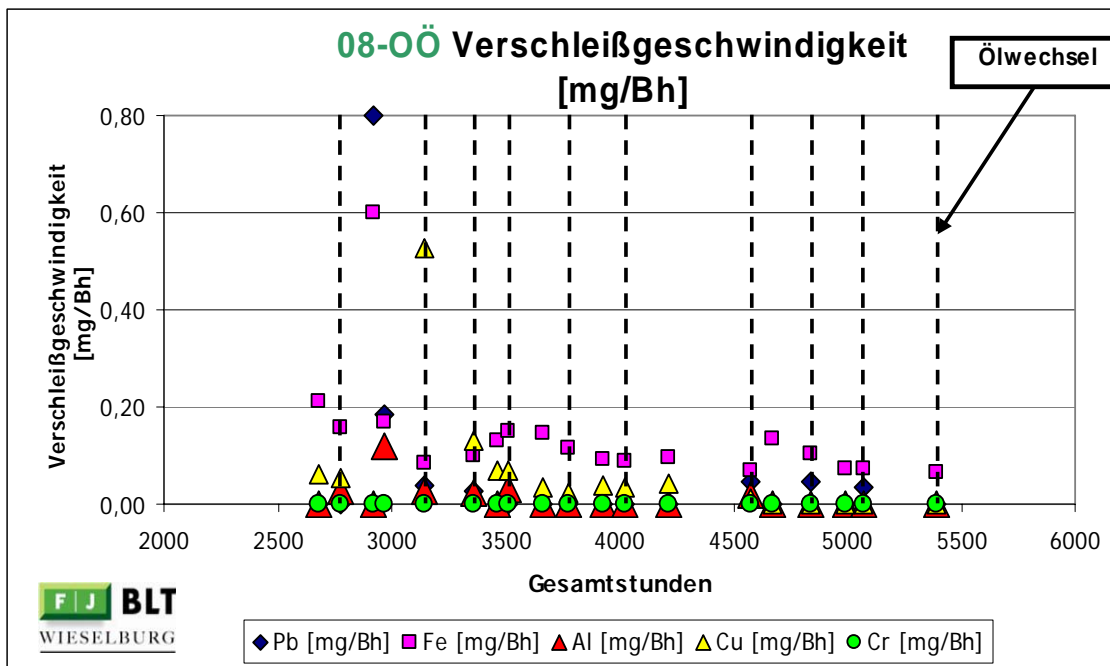


Abbildung 126: 08-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

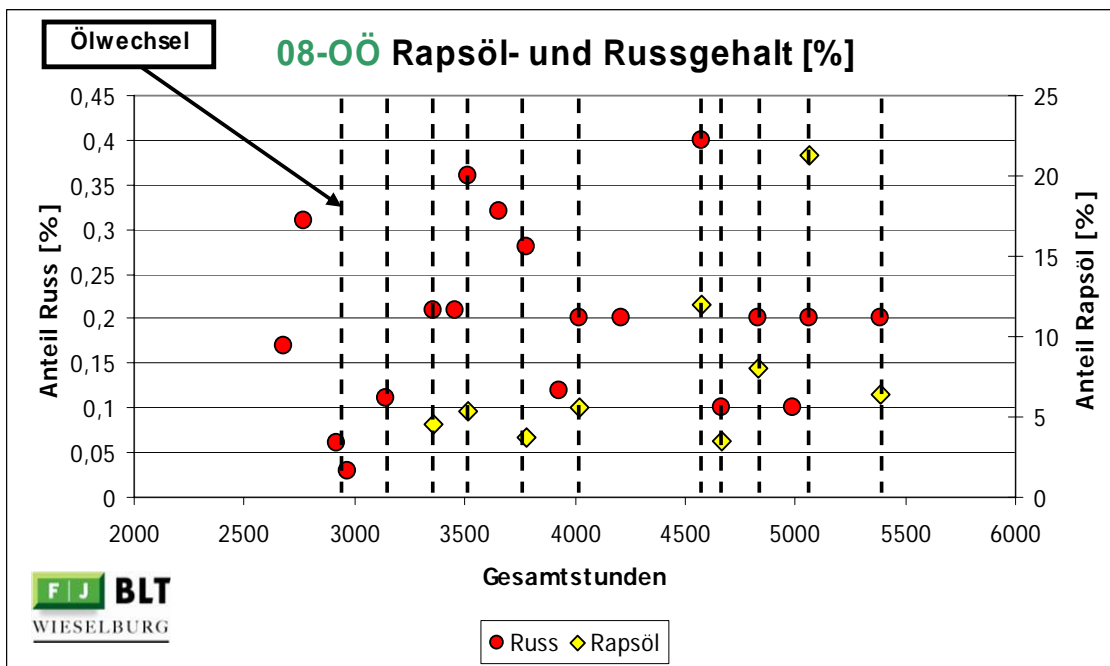


Abbildung 127: 08-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben



### **Kommentar Fa. Fuchs**

Hinsichtlich der Verschleißgeschwindigkeit gab es vor allem im Intervall 3 einige Überschreitungen der Additivgehalte. Auffällig sind in diesem Zusammenhang die hohen Kupfergehalte. Da sich diese jedoch in den nächsten Intervallen wieder normalisieren, kann das Vorliegen eines größeren Problems an dieser Stelle ausgeschlossen werden. Ansonsten sind die physikalisch-chemischen Parameter weitgehend als unkritisch anzusehen.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 14 Kraftstoffproben aus dem Lagertank, 13 Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Einige Grenzwertüberschreitungen gab es im ersten Jahr der Projektlaufzeit beim Wassergehalt. Seit Ende 2005 konnte der Grenzwert dieses Parameters durchgängig eingehalten werden. Beim Parameter wurden zwei massive Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Von zehn Bestimmungen des Parameters Oxidationsstabilität erfüllten lediglich zwei Ergebnisse die Mindestdauer von fünf Stunden Induktionsperiode. Bei Parameter Neutralisationszahl trat nur eine Überschreitung des Grenzwertes auf.

Tabelle 32: 08-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
12.08.2004	915	35,25	55,13	1,50	4,53	8,50	0,081
14.11.2004	919	34,63		1,01		4,93	0,073
16.02.2005	917	34,41	12,32	0,97		4,66	0,064
30.05.2005	919	34,27	10,85	2,86	3,57	7,34	0,101
22.09.2005	917	35,01	20,55	1,22	5,95	8,28	0,077
12.12.2005	917	34,84		0,80	1,47	4,81	0,067
27.02.2006	915	34,85	57,85	0,81	1,98	2,17	0,064
10.05.2006	918	34,53	14,78	1,73	1,25	5,03	0,060
04.10.2006	921	35,10	7,45	0,71	6,28	6,57	0,058
29.11.2006	919	35,14	11,80	1,07		5,59	0,063
01.03.2007	919	35,38	15,15	0,82	4,28	5,13	0,047
11.05.2007	919	35,48	8,20	0,73	2,25	4,78	0,059
27.07.2007	919	35,49	9,40	0,88	2,11	6,75	0,063
20.09.2007	920		13,71	0,65		5,86	0,054

## Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Die Analysenergebnisse der Proben aus dem Traktortank waren größtenteils zufrieden stellend. Drei Überschreitungen gab es beim Parameter Gesamtverschmutzung, wovon zwei eine massive Verschmutzung darstellten.

Tabelle 33: 08-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
14.11.2004	905	24,37	42,52	0,88	2,85	0,075	14
16.02.2005	915	32,88	15,55	0,94	5,35	0,062	3
30.05.2005	874	11,08	21,20	1,18	4,03	0,052	44
22.09.2005	911	29,80	11,63	1,13	6,49	0,062	6
12.12.2005	909	27,96	28,90	0,78	2,17	0,064	0
29.03.2006	909	27,38	68,45	0,77	2,61	0,062	10
10.05.2006	912	27,72	15,45	1,60	5,04	0,043	9
04.10.2006	907	21,16	8,05	1,03	5,68	0,061	19
29.11.2006	916	31,03	8,40	0,90	5,64	0,059	5
01.03.2007	905	21,22	7,13	0,81	3,42	0,046	19
11.05.2007	907	24,19	7,00	0,63	4,59	0,069	14
27.07.2007	904	24,47	15,44	0,79	5,76	0,056	14
20.09.2007	914		7,60	0,63	5,88	0,051	5

Lediglich eine Überschreitung gab es zu Beginn des Projektes beim Wassergehalt. Aufgrund des hohen Dieselanteils von 44% war das Ergebnis für die Dichte der Probe vom 30. Mai 2005 geringer als der Grenzwert für Rapsöl. Da dies keine negativen Auswirkungen auf den Motor hat, wurde der Wert nicht rot hinterlegt.

Die Überschreitungen des Toleranzbereiches der Dichte sind auf einen höheren Dieselanteil zurückzuführen, welcher durch Spülvorgänge und als Lecköl bei Dieselbetrieb systembedingt in den Rapsöltank gelangt. Der Dieselanteil beträgt bei den gemessenen Proben bis zu 44%.



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geschrieben. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben.

Über Aufzeichnungen im Traktortagebuch sind laut Traktormeterstand 1.532 Betriebsstunden über einen Zeitraum von zwei Jahren mit Rapsöl dokumentiert. In diesem Zeitraum wurden 10.508 Liter Rapsöl sowie 2.174 Liter Diesel getankt. Dies ergab einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 8,28 Litern/TMh. Der Dieselanteil lag bei diesem Traktor mit einer 2-Tank-System Umrüstung bei 17%.

Von Ende Juli 2006 bis zur Abschlussuntersuchung im Jänner 2008 wurden keine Eintragungen mehr übermittelt und daher auch nicht ausgewertet. Das Traktortagebuch wurde nicht vollständig geführt, die Auswertungen des Traktortagebuchs beruhen lediglich auf Eintragungen von 166 Tagen.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 08 John Deere 6410



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 22. Jul. 04 bei TMh: 2570  
 Letzter Eintrag 26. Jul. 06 bei TMh: 4102,0 TMh lt. Traktortagebuch **1532,0**

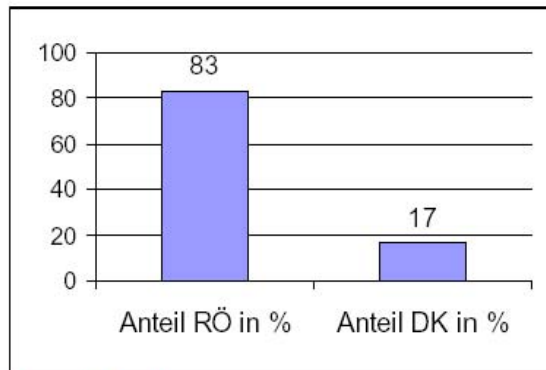
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 166

Tankmengen:

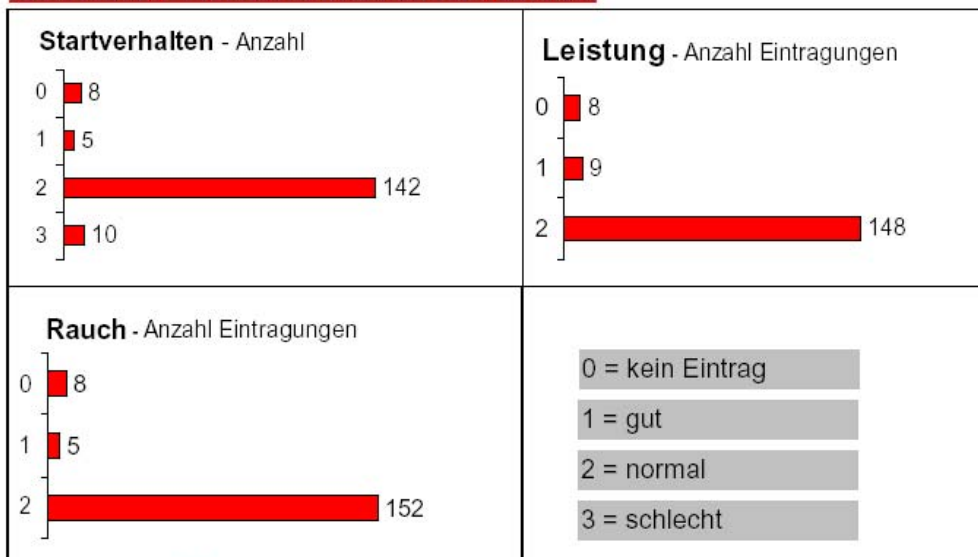
Diesel in l: 2174  
 Rapsöl in l: 10508

durchschnittlicher Verbrauch/h:

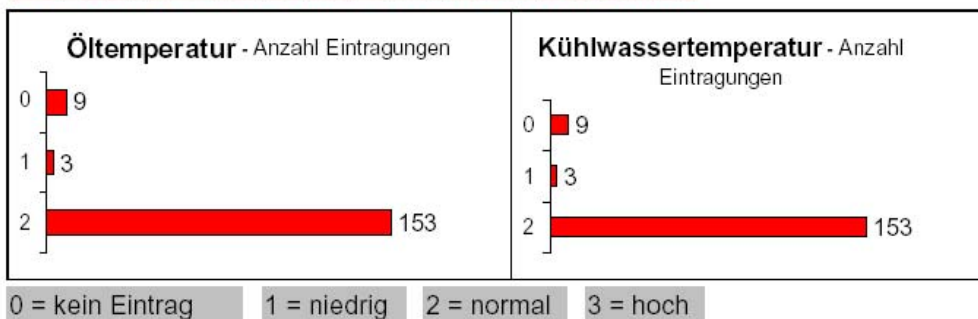
**8,28**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



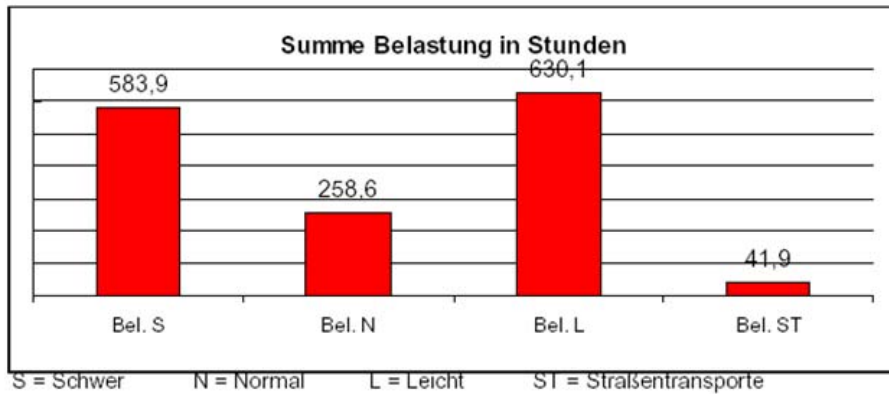


Traktortagebuch

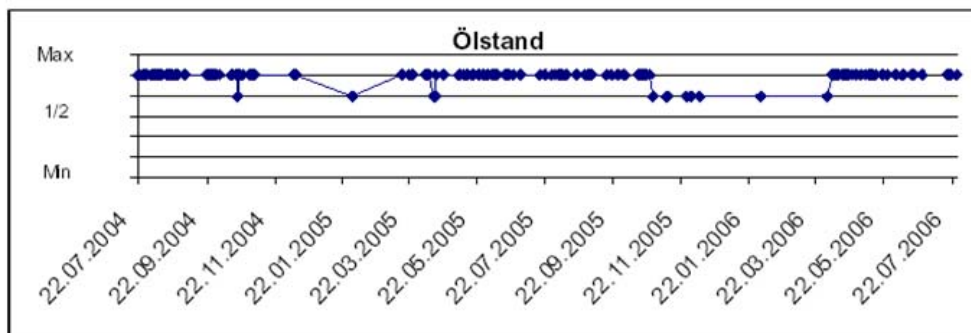
Fahrzeug: 08 John Deere 6410



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf





## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression ergab bei Zylinder 3 den stärksten Druckabfall. Dies ging einher mit dem Ergebnis der Druckverlustmessung des Brennraumes. Bei Zylinder 3 war ein Blasgeräusch im Auslasskanal hörbar, welches auf einen undichten Ventilsitz zurückzuführen war.

**Tabelle 34: 08-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	28	28	18	14	235	250	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	27	27	22	22	225	250	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	26	22	65	78	defekt	245	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	26	24	20	18	230	defekt	i.O.	defekt	Düse 4

i.O.....in Ordnung

Die im Rahmen der Anfangsuntersuchung identifizierte defekte Düse wurde getauscht. Bei der Untersuchung zu Versuchsende wurde Düse 4 durch die Demontage defekt. Generell war ein Anstieg des Öffnungsdrucks um bis zu 25 bar zu beobachten.

Düsen spitzen und -schaft waren mit einem krustenartigen Belag versehen, die Düsenlöcher waren jedoch allesamt frei



Abbildung 128: 08-OÖ Einspritzdüse

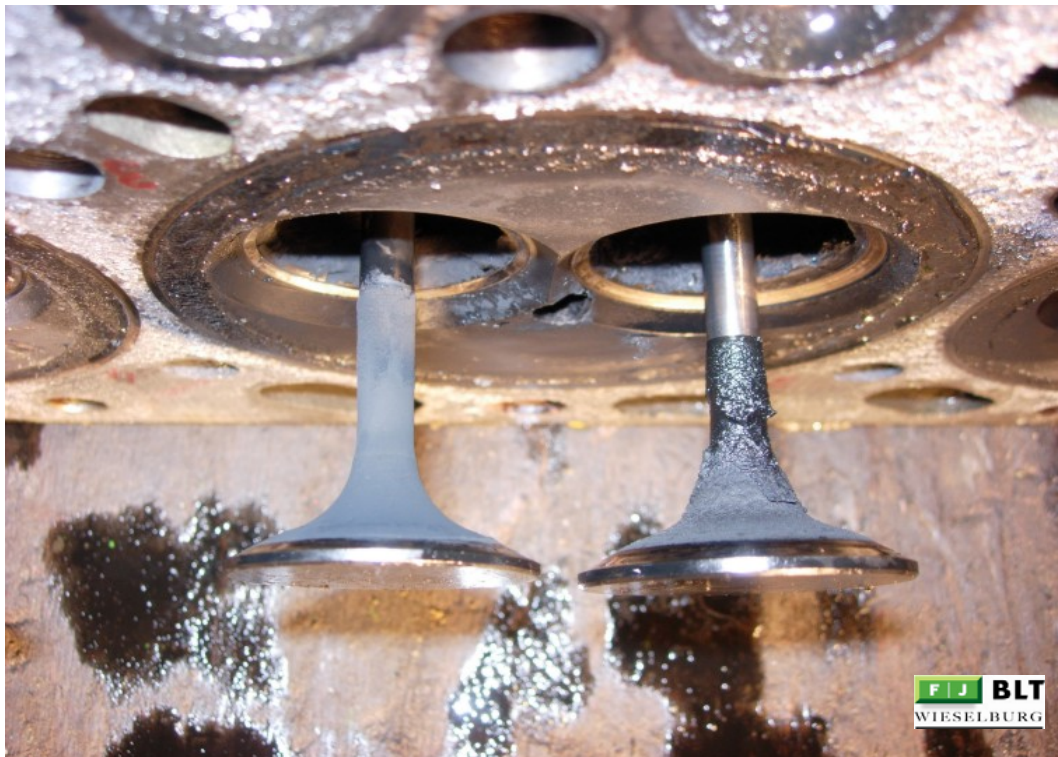
## Brennraumuntersuchung

Der Zylinderkopf war mit einem grau-schwarzen Belag versehen, der in den Randbereichen des Brennraumes teilweise in eine Belagkruste überging.



Abbildung 129: 08-OÖ Zylinderkopf

Die Einlassventile wiesen eine schwarze Belegkruste auf, wobei diese bei Zylinder 3 und 4 etwas stärker ausgeprägt war. Die Abdichtung und Ventilfehrung zeigten nichts Auffälliges. Die Auslassventile waren mit einem geringen schwarzen Belag versehen. Im Abgaskanal konnten keine Beläge festgestellt werden. Bei Zylinder 3 war ein Kokseinschlag am Ventilsitz erkennbar. Das Auslassventil von Zylinder 4 war etwas schwergängig.



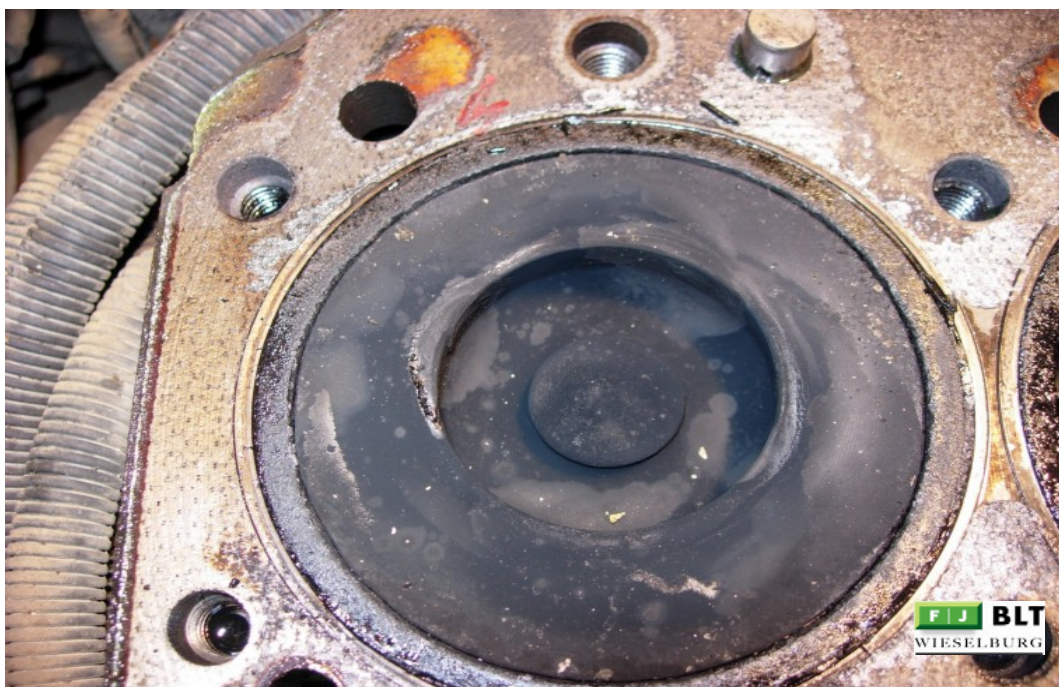
**Abbildung 130: 08-OÖ Auslass- und Einlassventil**

Der Feuerstegbereich der Zylinderlaufbüchsen war klar abgegrenzt und mit einer schwarzen Belagskruste von ca. 1mm versehen. Die Honspuren der Büchse waren noch deutlich sichtbar, der Verschleiß der Einsatzdauer entsprechend.



**Abbildung 131: 08-OÖ Zylinderlaufbüchse**

Die Kolbenoberflächen zeigten einen schwarzen trockenen Belag, welcher in den Randbereichen teilweise in eine regelrechte Verkrustung überging. Das Spritzbild der Düsen ist in der Kolbenmulde teilweise erkennbar. Am Kolbenboden von Zylinder 3 war die Aufschlagspur des Auslassventils erkennbar.



**Abbildung 132: 08-OÖ Kolbenboden**



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor John Deere 6410 wurde im Juni 2004 bei einer bisherigen Laufleistung von 2.564 Traktormeterstunden von der Fa. Graml mit einem sogenannten Bioka 2-Tank Kraftstoffmanagement System ausgerüstet. Insgesamt wurde der Traktor 2887 Traktormeterstunden mit diesem System betrieben.

Es wurden während des Versuchszeitraumes keine nennenswerten Störungen bekannt.

Die Leistungsmessung ergab sowohl zu Beginn als auch bei der Abschlussmessung nahezu identische Kurven der beiden Kraftstoffe. Die Endvermessung zeigte jedoch einen Leistungsabfall bei beiden Kraftstoffen, bei Dieselbetrieb konnte ein Abfall von 12% und bei Rapsölbetrieb ein Abfall von 9% festgestellt werden. Der Kraftstoffverbrauch blieb trotz der Leistungseinbußen gleich.

Die Emissionsmessungen bei Versuchsbeginn zeigten bei Rapsölbetrieb eine Erhöhung der Kohlenmonoxid- und Stickoxidemissionen gegenüber Dieselbetrieb. Die Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Rapsölbetrieb geringfügig niedriger als bei Dieselbetrieb. Über die Laufzeit stiegen die Kohlenmonoxidemissionen bei beiden Kraftstoffen, wobei bei Dieselbetrieb der Anstieg deutlich höher war. Die Stickoxidemissionen haben über die Laufzeit sowohl bei Diesel- als auch bei Rapsölbetrieb abgenommen. Eine leicht steigende Tendenz war bei den Kohlenwasserstoffemissionen zu verzeichnen.

Zusätzlich zu den gasförmigen Emissionen wurden bei der Abschlussuntersuchung jeweils zwei Partikelmessungen durchgeführt. Der Ausstoß an Partikelmasse war bei Rapsölbetrieb höher als bei Dieselbetrieb.

Bei den Motorölanalysen wurden im Intervall 3 bereits bei der 10-min-Probe Auffälligkeiten sowohl hinsichtlich des Viskositätsverlaufes, der TBN und als auch eines erhöhten Eisengehaltes beobachtet. Die entsprechenden Werte konnten jedoch über das gesamte Wechselintervall konstant gehalten werden, sodass es zu keinen weiteren Grenzwertüberschreitungen gekommen ist. Der Limitwert von 25% Viskositätsänderung wurde im Intervall 11 bei der Altölprobe bei 40°C deutlich, bei



100°C beinahe überschritten. Ansonsten verliefen die Ölwechselintervalle mit einigen Schwankungen innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte. Der Russgehalt im Motoröl war durchgängig sehr gering. Der Anteil von Rapsöl im Motoröl verlief mit einer Ausnahme ebenfalls unter der hier vorgesehenen Limitgrenze von maximal 15%.

Grenzwertüberschreitungen von Parametern des Rapsöles gab es bei den Proben aus der Ölmühle zu Beginn des Projektes bei der Gesamtverschmutzung. Ab 2006 gab es insgesamt kaum mehr Überschreitungen.

Bei den Lagertankproben gab es Grenzwertüberschreitungen vor allem beim Parameter Oxidationsstabilität. Bei den Traktortankproben konnte durchgängig eine gute Qualität festgestellt werden.

Die im Rahmen der abschließenden Motoruntersuchung durchgeführte Messung der Kompression ergab bei Zylinder 3 den größten Druckabfall. Dies geht einher mit dem Ergebnis der Druckverlustmessung des Brennraumes. Bei Zylinder 3 war ein Blasgeräusch im Auslasskanal hörbar, welches auf einen undichten Ventilsitz zurückzuführen war.

Generell war ein Anstieg des Düsenöffnungsdrucks um bis zu 25 bar zu beobachten. Der Düsenchaft und die Spitzen waren mit einem krustenartigen Belag versehen, die Düsenlöcher waren jedoch allesamt frei

Die Einlassventile wiesen eine schwarze Belegkruste auf, diese war bei Zylinder 3 und 4 etwas stärker ausgeprägt. Bei Zylinder 3 ist Kokseinschlag am Sitz des Auslassventils erkennbar. Das Auslassventil von Zylinder 4 war schwergängig.

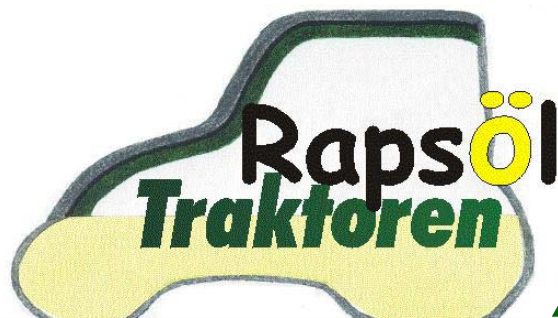
Der Feuerstegbereich der Zylinderlaufbüchsen war klar abgegrenzt und mit einer schwarzen Belagskruste von ca. 1 mm versehen. Die Honspuren der Büchse waren noch deutlich sichtbar, der Verschleiß der Einsatzdauer entsprechend.

Die Kolbenoberflächen zeigten einen schwarzen trockenen Belag, welcher in den Randbereichen teilweise in eine regelrechte Verkrustung überging. Am Kolbenboden von Zylinder 3 war die Aufschlagspur des Auslassventils erkennbar.



09-Bgld

# 09-Bgld



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Bewässerungsaggregat</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Juli 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Eigenumrüstung</b>
<b>Pflanzenöleinsatz:</b>	<b>583 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Bewässerungsaggregat
<b>Fahrzeugmarke</b>	-----
<b>Motortype</b>	MB OM 615.912
<b>Erstmalige Zulassung</b>	-----
<b>Motorhersteller</b>	Mercedes
<b>Motor Nr.</b>	615.912-10-110.032
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	----
<b>Kühlung</b>	Wasser
<b>Ölfüllmenge</b>	4,5 Liter
<b>Nennleistung</b>	60 PS
<b>Nenn Drehzahl</b>	4200 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	2197 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	87 x 92,4 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	21 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Reiheneinspritzpumpe
<b>Einspritzdruck</b>	
<b>Kraftstofftank</b>	
<b>Eigengewicht</b>	

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Juli 2004
<b>bei TMh</b>	2.350
<b>Enduntersuchung</b>	September 2008
<b>bei TMh</b>	2.933

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Eigenumrüstung
<b>Umrüster</b>	Peck





Das Bewässerungsaggregat mit Mercedes Motor wurde vom Betreiber im Juli 2004 mit einer Eigenumrüstung für den Betrieb mit Rapsöl ausgestattet. Die Umrüstung basiert auf einer reinen Kraftstoffvorwärmung durch das Kühlwasser. Die Rapsölauführung erfolgt extern durch einen 1.000 Liter Kunststofftank, welcher jeweils neben dem Aggregat positioniert wird. Der Startvorgang erfolgt mit Dieselkraftstoff, nach Erreichen der Betriebstemperatur wird manuell auf Betrieb mit Rapsöl umgeschaltet. Der Abstellvorgang erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.



## 1. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Universal HD SAE 15W-40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl wurden vom Betreiber auf max. 250 Betriebsstunden festgelegt.

Während der Projektlaufzeit wurde ein Ölwechselintervall zu 144 TMh untersucht. Von 7 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C analysiert und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Ab 2005 wurden von Betreiber keine Motorölproben mehr an das Labor des FJ-BLT geschickt.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

Die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C zeigten einen sehr ähnlichen Verlauf. Die Ölwechselprobe wies einen maximalen Anstieg um 18% verglichen mit der Viskosität der Frischölprobe auf. Der Grenzwert einer maximal erlaubten Zunahme von 25% wurde somit eingehalten.

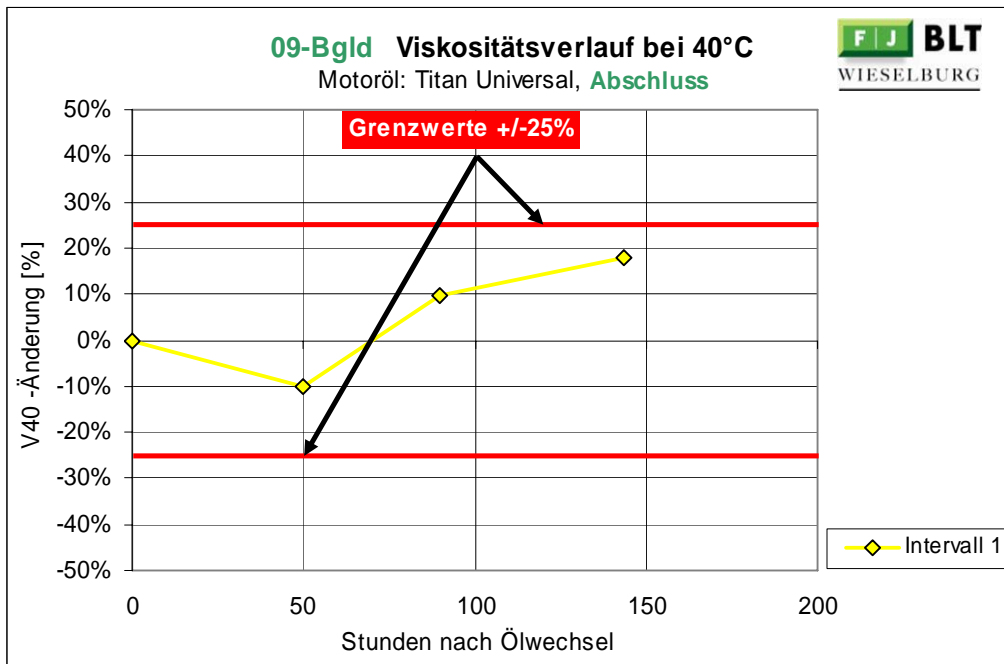


Abbildung 133: 09-Bgld Änderung der Viskosität bei 40°C

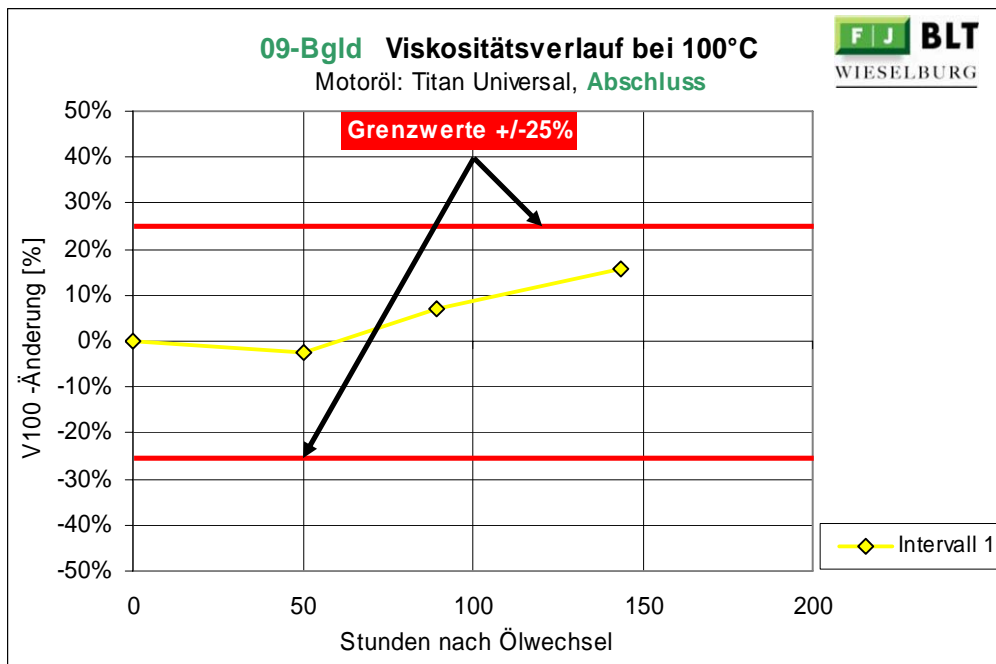


Abbildung 134: 09-Bgld Änderung der Viskosität bei 100°C

Der Verlauf der Untersuchungsergebnisse der Total Base Number war leicht ansteigend.

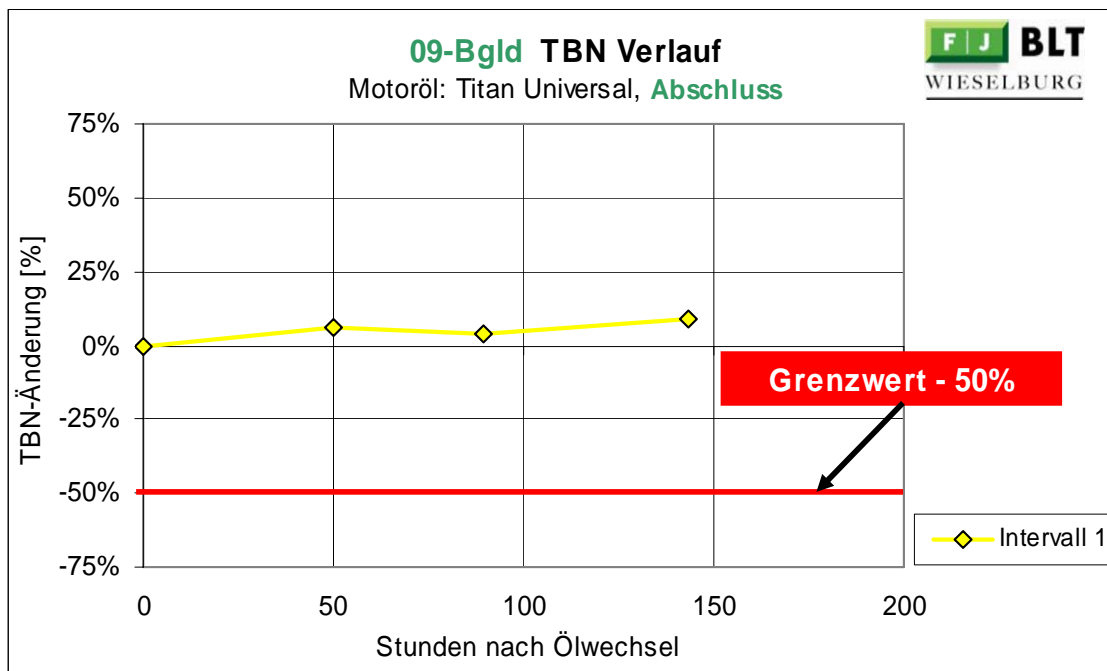


Abbildung 135: 09-Bgld Änderung der Total Base Number

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden zwei Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt sowie auf den Gehalt an Verschleißmetallen untersucht wurden. Bei den Verschleißelementen Blei, Aluminium, Kupfer und Chrom wurde der vorgegebene Grenzwert einer maximalen Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh deutlich unterschritten. Bei Eisen lag die Verschleißgeschwindigkeit bei rund 0,4 mg/Bh.

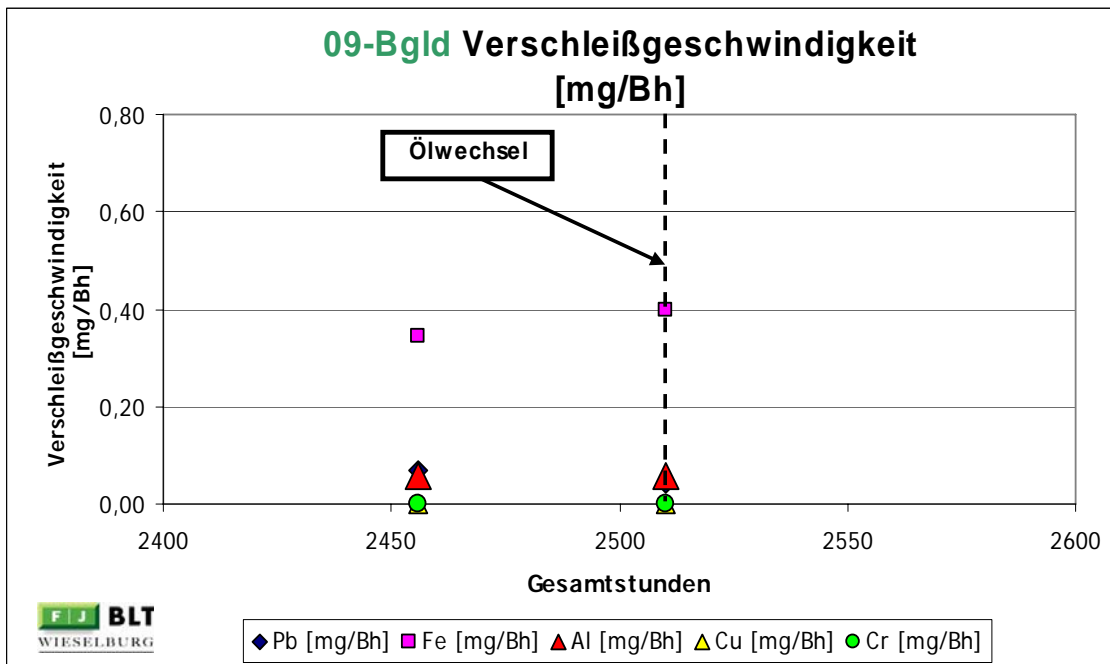


Abbildung 136: 09-Bgld Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Der Russgehalt lag bei den beiden analysierten Proben bei 1,2 und 2,4 % und somit noch unter dem Grenzwert von 3%.

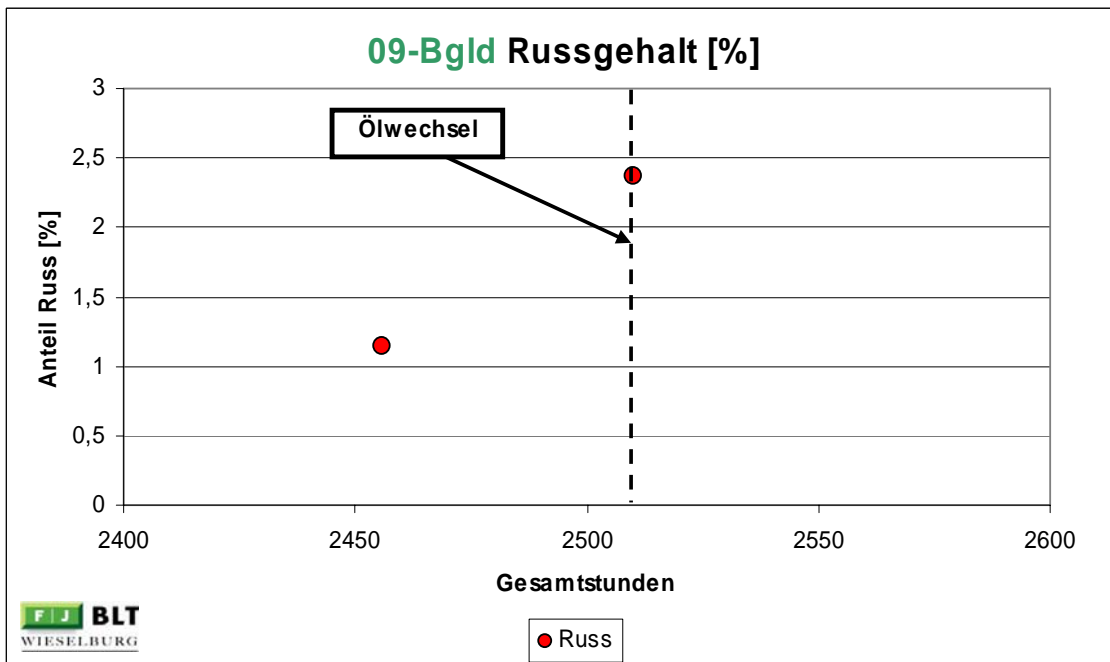


Abbildung 137: 09-Bgld Russgehalt in den Motorölproben

## 2. Rapsölqualität

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte zu Beginn des Projektes aus der Ölmühle Mining in Oberösterreich, danach aus der Ölmühle Bruck in der Steiermark. Es wurde eine Probe aus dem Lagertank gezogen, welche anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen wurde. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse der Lagertankprobe dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprachen nicht den Anforderungen der österreichischen Kraftstoffverordnung.

**Tabelle 35: 09-Bgld Kraftstoffprobe aus dem Lagertank**

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
01.07.2004	915	35,46	48,68	1,70	6,70	13,70	0,071

Grenzwertüberschreitungen wurden bei den Parametern Gesamtverschmutzung (GV) sowie beim Phosphorgehalt festgestellt. Das Untersuchungsergebnis von 48,68 mg/kg lag beinahe in der Höhe des doppelten Grenzwertes.

### 3. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Motors wurden, soweit als möglich, die Kompression der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht.

#### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Zwei Einspritzdüsen des Mercedes Vorkammer-Motors waren bei der Anfangsuntersuchung als defekt einzustufen. Die Düsen wurden vor Versuchsbeginn zur Reparatur gebracht und vollständig instandgesetzt. Die Betriebsstunden Anzeige des Motors zeigte eine Einsatzdauer von 2.350 Stunden. Dies war vermutlich nicht die Gesamteinsatzdauer des Motors.

Der Motor konnte bei Versuche infolge einer schadhafte Vorglühanlage nicht mehr gestartet werden. Die Messung der Kompression zeigte einen Abfall des Kompressionsdruckes. Der Düsenöffnungsdruck erhöhte sich bei zwei Düsen erheblich. Insgesamt mussten alle Düsen als defekt eingestuft werden. Allerdings wurde das Aggregat nach Aussagen des Betreibers 2008 nicht benutzt und im Freien gelagert.

**Tabelle 36: 09-Bgld Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	21	20	95	100	i.O.	defekt	Düse 1
Zylinder 2	23	21	105	100	i.O.	defekt	Düse 2
Zylinder 3	22	14	110	170	defekt	defekt	Düse 3
Zylinder 4	24	20	105	200	defekt	defekt	Düse 4

i.O.....in Ordnung



Abbildung 138: 09-Bgld Einspritzdüse





## 4. Schlussbetrachtung

Das Bewässerungsaggregat mit Mercedes Motor wurde im Juli 2004 bei einer bisherigen Laufleistung von 2.350 Betriebsstunden vom Betreiber mit einer Kraftstoffvorwärmung für den Betrieb mit Rapsöl ausgerüstet. Insgesamt wurde das Aggregat im Rahmen des Projekts 583 Betriebsstunden mit dieser Umrüstung betrieben. Der Mercedes Motor MB OM 615.912 ist als Fahrzeugmotor konzipiert und wurde im Mercedes Diesel PKW 220 D verbaut. Die Laufleistung des Motors vor dem Einbau in das Pumpenaggregat ist nicht bekannt. Der Einsatz von Rapsöl als Kraftstoff für ein Pumpenaggregat welches im umwelt-sensiblen Bereich direkt am Acker aufgestellt wird, war dem Betreiber ein besonderes Anliegen.

Die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C zeigten einen sehr ähnlichen Verlauf. Die Ölwechselprobe wies einen maximalen Anstieg um 18% verglichen mit der Viskosität der Frischölprobe auf. Der Verlauf der Untersuchungsergebnisse der Total Base Number war leicht ansteigend. Bei den Verschleißelementen Blei, Aluminium, Kupfer und Chrom wurde der vorgegebene Grenzwert einer maximalen Verschleißgeschwindigkeit von 0,5 mg/Bh deutlich unterschritten. Bei Eisen lag die Verschleißgeschwindigkeit bei rund 0,4 mg/Bh. Der Russgehalt lag bei den beiden analysierten Proben bei 1,2 und 2,4 % und somit noch unter dem Grenzwert von 3%.

Grenzwertüberschreitungen wurden beim eingesetzten Rapsöl bei den Parametern Gesamtverschmutzung (GV) sowie beim Phosphorgehalt festgestellt.

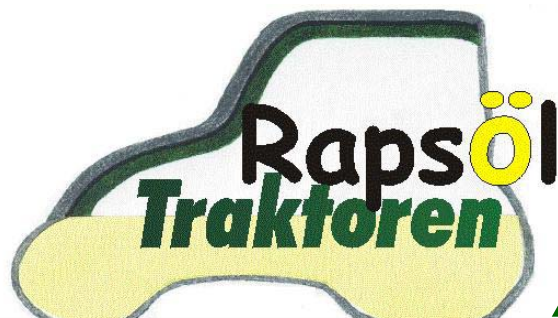
Der Motor konnte bei Versuche infolge einer schadhafte Vorglühanlage nicht mehr gestartet werden. Die Messung der Kompression zeigte einen Abfall des Kompressionsdruckes. Der Düsenöffnungsdruck erhöhte sich bei zwei Düsen erheblich. Insgesamt mussten alle Düsen als defekt eingestuft werden. Allerdings erfolgte der Einsatz des Pumpenaggregats nur nach Bedarf, wegen der günstigen Witterungsbedingungen wurde das Aggregat nach Aussagen des Betreibers 2008 nicht benutzt und im Freien gelagert.





10-OÖ

10-OÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt 412</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Juli 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Hausmann 1-Tank System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.583 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt Farmer 412 Vario
<b>Motortype</b>	BF4M2013EC
<b>Erstmalige Zulassung</b>	6.5.2003
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	BF4M2013C807461
<b>Anzahl Zylinder</b>	4
<b>Turboaufladung</b>	ja, mit Ladeluftkühlung
<b>Kühlung</b>	Wasser
<b>Ölfüllmenge</b>	11 Liter
<b>Nennleistung</b>	94 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2100 min-1
<b>Hubraum</b>	3802 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hu</b>	101 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	18,5 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	PLD
<b>Einspritzdruck</b>	250 bar
<b>Kraftstofftank</b>	165 Liter
<b>Eigengewicht</b>	5190 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	November 2004
<b>bei TMh</b>	1.059
<b>Enduntersuchung</b>	November 2007
<b>bei TMh</b>	3.642

### Umrüstung

<b>Umrüstsysteem</b>	Hausmann Eintanksystem
<b>Umrüster</b>	Siegfried Hausmann



# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Die gemessene Leistung war zu Beginn bei Diesel um ca. 5 kW geringer als bei Betrieb mit Rapsöl. Die Endmessung zeigte bei Betrieb mit Diesel eine Leistungszunahme von etwa 3 kW, während die Leistung bei Rapsölbetrieb leicht abgenommen hat. Der Dieselverbrauch blieb konstant, jener von Rapsöl wurde entsprechend der Leistung geringer.

Nachfolgend sind die entsprechenden Diagramme dargestellt, wobei hier jeweils die Werte von Diesel und von Rapsöl der Anfangsuntersuchung, jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt werden.

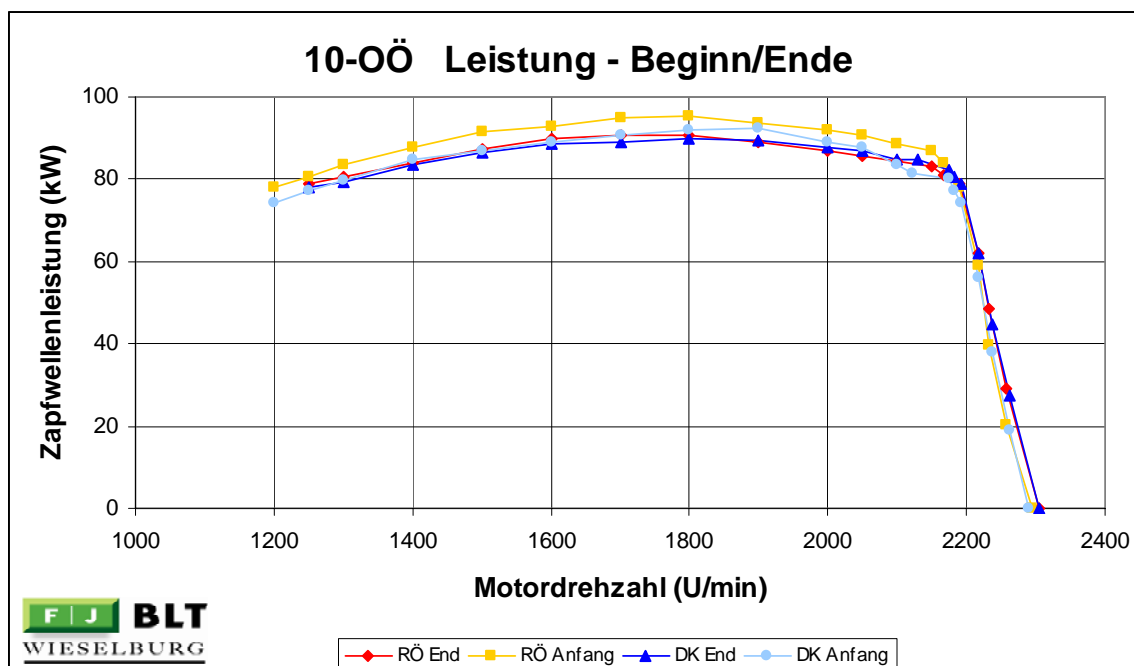


Abbildung 139: 10-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

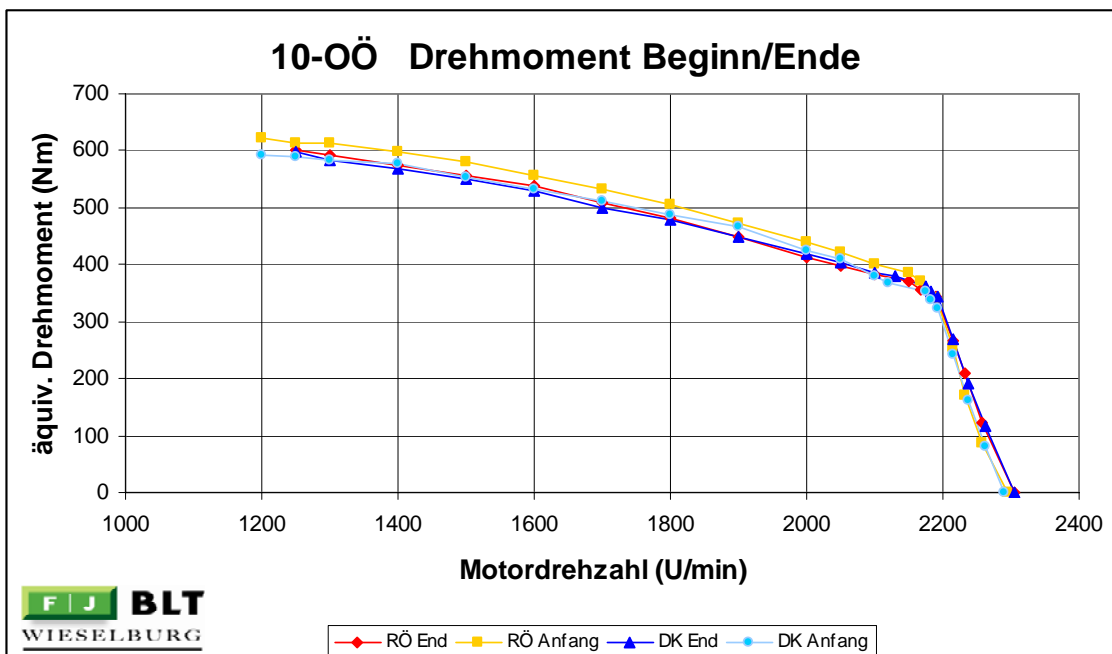


Abbildung 140: 10-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

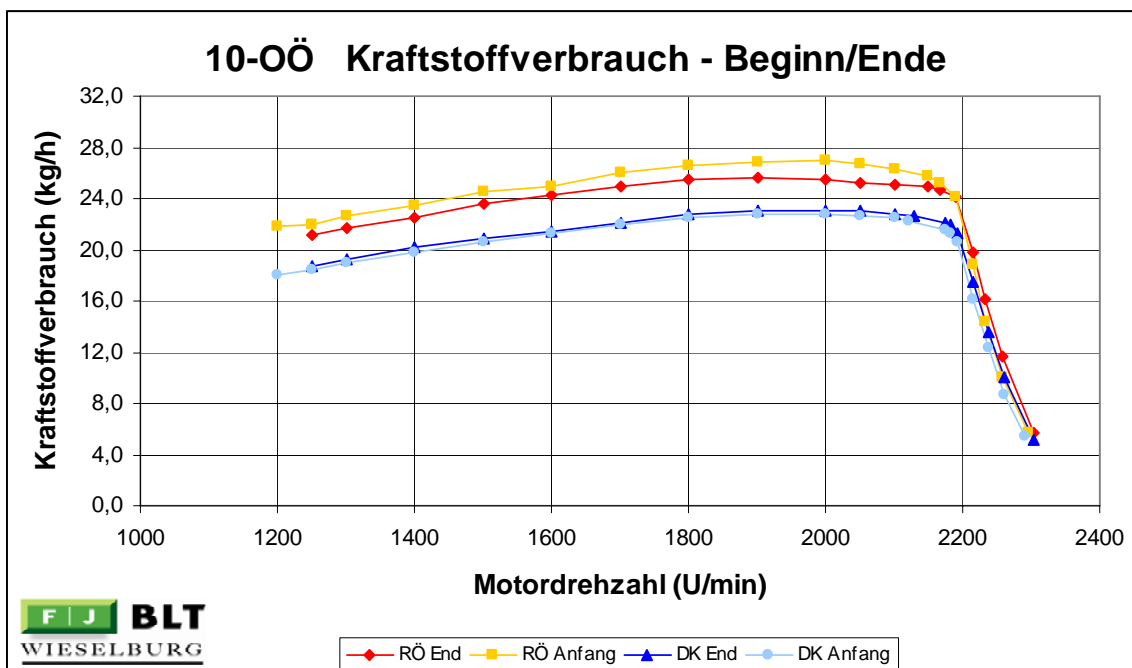


Abbildung 141: 10-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende

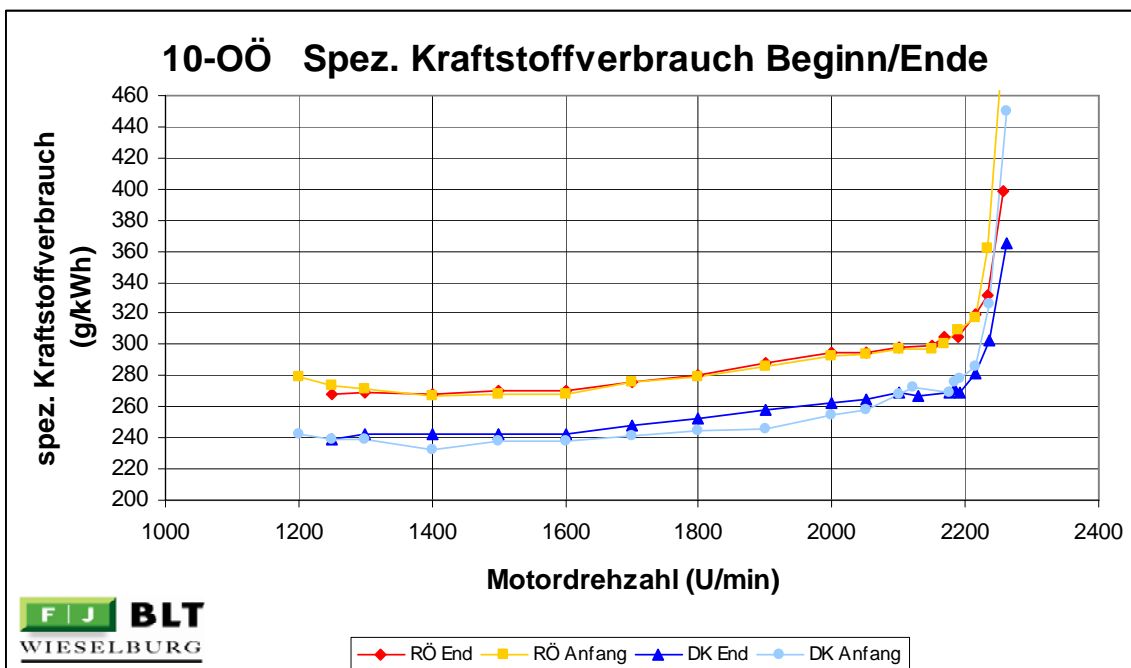


Abbildung 142: 10-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessungen ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt eine Aufstellung der Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment, welche nahezu keinen Unterschied aufweisen.

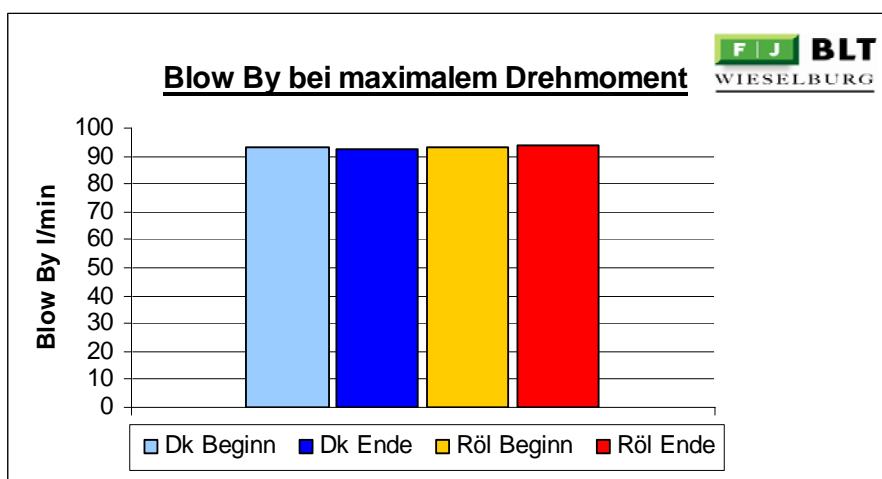


Abbildung 143: 10-OÖ Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment



## Emissionsmessung

Die Emissionsmessungen zeigten über die Laufzeit einen deutlichen Anstieg der Kohlenmonoxidemissionen, wobei jene bei Dieselbetrieb rund doppelt so hoch wie der Durchschnitt aller Traktoren waren. Auch bei Rapsölbetrieb lagen die CO Emissionen deutlich über dem Mittelwert. Die Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Rapsölbetrieb sehr gering, bei Dieselbetrieb zwar deutlich höher, dennoch unter dem Mittelwert. Ebenfalls unter dem Durchschnitt lagen die Stickoxidemissionen sowohl im Rapsöl- als auch im Dieselbetrieb. Gegenläufig zur Zunahme der CO Emissionen haben die Stickoxidemissionen bei Rapsölbetrieb über die Laufzeit abgenommen.

**Tabelle 37: 10-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende RÖ	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	19.11.2004	07.11.2007	18.11.2004	08.11.2007
CO	1,47	2,16	2,32	3,29
HC	0,10	0,12	0,29	0,36
NOx	9,65	8,96	7,74	8,51





## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W-40 der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber beibehalten.

Während der Projektlaufzeit wurden sieben Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 341 TMh, sowie ein Intervall mit 177 TMh untersucht. Von 48 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C analysiert und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 25% der geplanten alle 50 TMh zu ziehenden Proben wurden vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

Sehr gleichmäßig verlief die Viskosität bei 40°C über alle Ölwechselintervalle. Die größten Schwankungen lagen bei +/- 5% des Altöles im Vergleich zur Bezugsbasis (5-min Probe). Auch bei den längeren Ölwechselintervallen konnten keine auffälligen Schwankungen festgestellt werden.

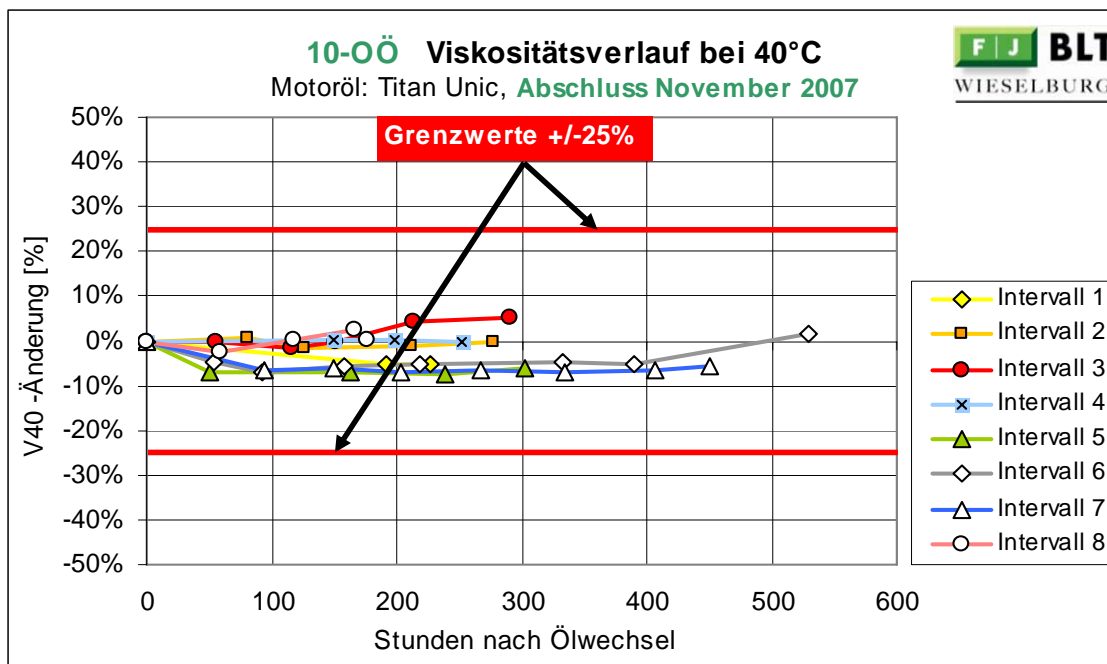


Abbildung 144: 10-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Auffälliger verhielt sich die Viskosität bei 100°C. Hier konnte vor allem im Intervall 1 ein starker Anstieg ab 200 Stunden festgestellt werden. Die Zunahme von 15% war zwar weiter unbedenklich, dem Trend zufolge wäre jedoch bei weiterem Betrieb der Grenzwert von 25% Änderung überschritten worden. Ein Anstieg von 8% wurde in den Intervallen 3 und 6 beobachtet, wobei dieser Anstieg im Intervall 6 erst bei über 500 Bh erreicht wurde. Den größten Viskositätsabfall von 9% gab es im Intervall 5. Insgesamt lagen jedoch alle Werte deutlich innerhalb der vorgegebenen Grenzwerte.

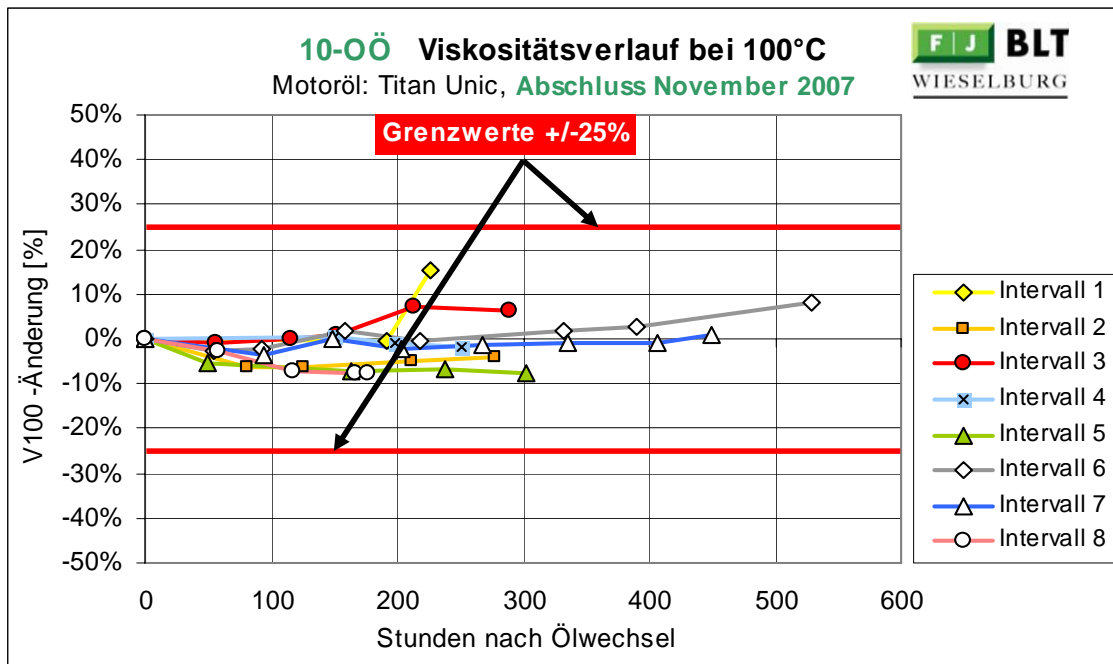


Abbildung 145: 10-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

Die Total Base Number Ergebnisse zeigten über alle Ölwechselintervalle eine Abnahme von bis zu rund 30 % vom Ausgangswert. Bezogen auf die aufgestellten Grenzen von maximal 50 % Abnahme waren alle Ergebnisse unbedenklich.

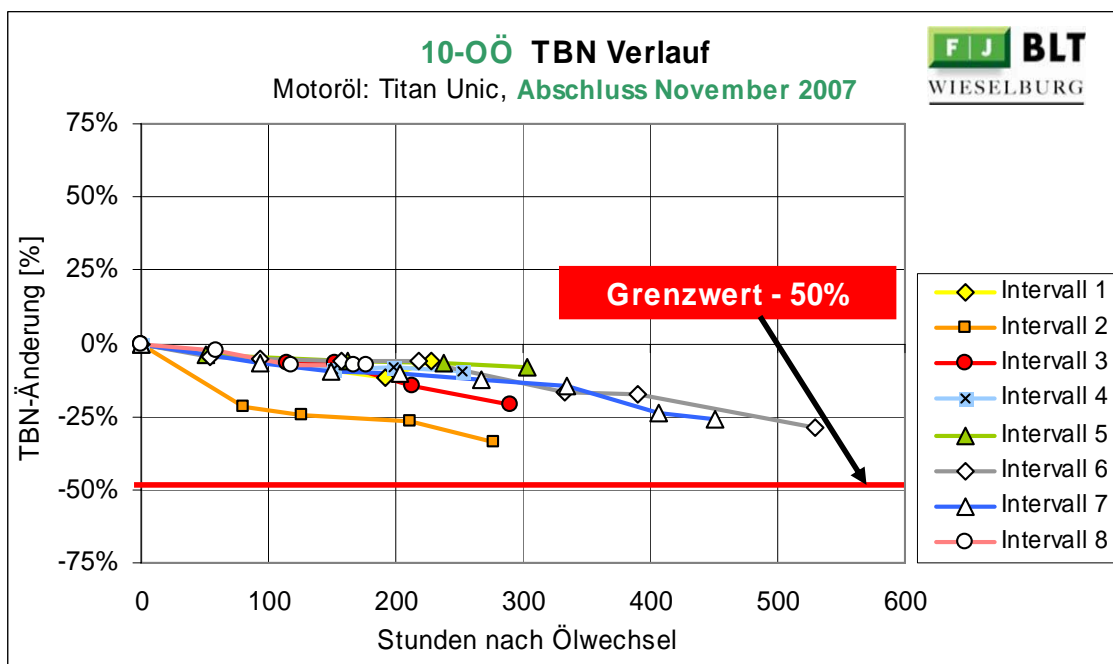


Abbildung 146: 10-OÖ Änderung der Total Base Number

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 19 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt, sowie auf den Gehalt an Verschleißelementen untersucht wurden.

Bei allen dargestellten Verschleißelementen - Blei, Eisen, Aluminium, Kupfer und Chrom – lag die Verschleißgeschwindigkeit unter dem Grenzwert von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde.

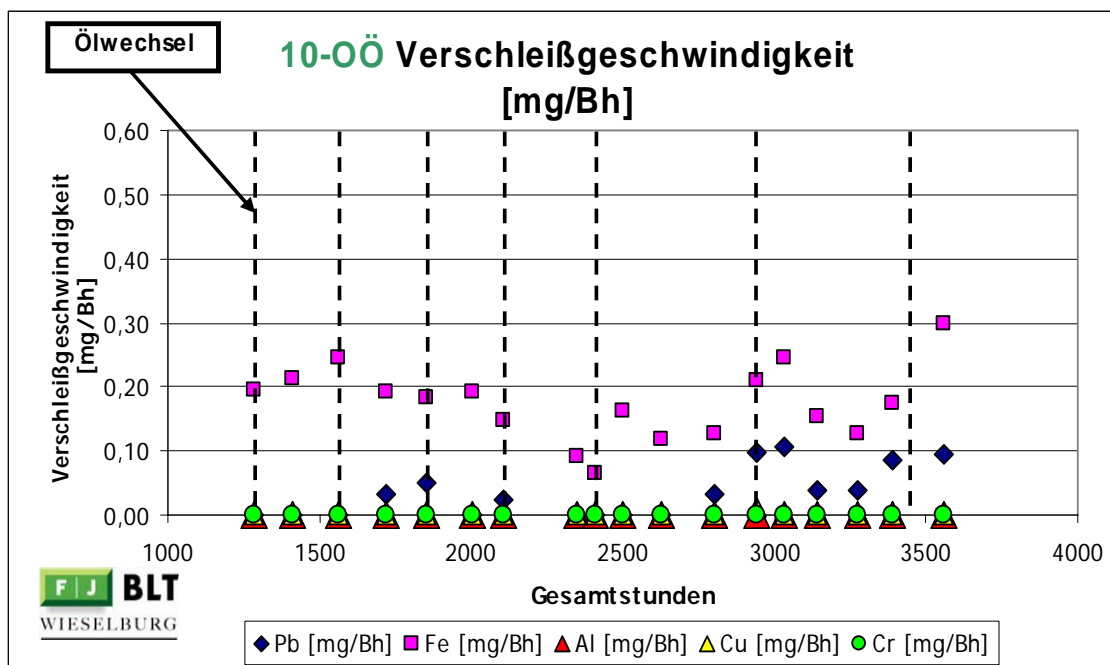


Abbildung 147: 10-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Die Russgehalte waren durchgängig höher als bei den anderen Traktoren. Der Limitwert von 3% konnte jedoch immer eingehalten werden. Eine Überschreitung des Grenzwertes von 15 % gab es beim Anteil des Rapsöles im Motoröl im Intervall 6, bei dem der Ölwechsel erst nach mehr als 500 Bh vorgenommen wurde.

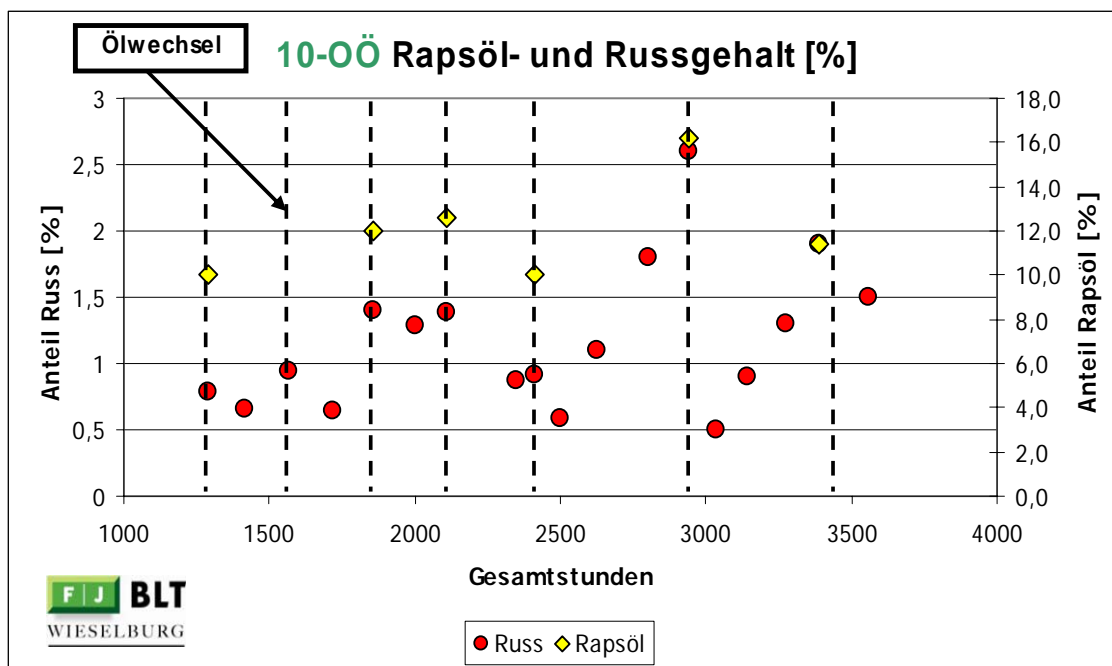


Abbildung 148: 10-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

### Kommentar Fa. Fuchs

Über alle Intervalle hinweg ist bei den meisten Parametern ein eindeutiger und unkritischer Trendverlauf zu erkennen. Das Verschleißelement Blei ist hier als kritisch anzusehen. Bei fünf von acht untersuchten Proben wird der festgelegte Grenzwert von 10 Milligramm je Kilogramm überschritten, im extremsten Fall nahezu um das Vierfache. Ein Trendverlauf ist hier nicht zu erkennen. Der Kraftstoffeintrag in das Öl liegt bei den untersuchten Proben bis auf einen Fall unterhalb der festgelegten Grenze. Eine Tendenz lässt sich durchaus erahnen, mit steigender Laufzeit nimmt der Kraftstoffeintrag zu. Der Grenzwert von maximal 15% wird in der Größenordnung von etwa 500 Betriebsstunden überschritten. Der Russgehalt bleibt unterhalb des festgelegten Limitwertes von 3%, nimmt aber über alle Intervalle hinweg mit steigender Betriebsstundenzahl zu, wobei er bei etwa 500 Betriebsstunden nur knapp unterhalb des Limits bleibt.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich.

Insgesamt wurden 13 Kraftstoffproben aus dem Lagertank, 12 Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus Lagertank

Tabelle 38: 10-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
14.11.2004	918	34,76	48,68	1,00		5,27	0,071
23.03.2005	916	34,22	16,08	2,76		6,43	0,080
02.06.2005	918	34,56	23,85	1,75	3,85	4,98	0,068
15.09.2005	916	34,96	35,80	1,28	2,05	7,89	0,074
11.01.2006		34,72		0,95	6,30	5,56	0,062
17.02.2006	915	34,30	76,67	1,59	6,42	5,45	0,059
27.02.2006	915	34,65	43,13	1,60	4,55	4,78	0,062
10.05.2006	918	34,51		1,75	6,10	7,81	0,058
14.09.2006	921	34,91	14,55	1,52	2,78	15,88	0,069
29.11.2006	919	35,29	4,10	0,89		4,60	0,058
01.06.2007	919	35,49	n.f.	0,94		5,39	0,058
11.07.2007	919	35,46	7,86	1,38	2,15	9,14	0,063
12.10.2007	920	36,27	16,46	0,68	7,27	3,07	0,067

Bei den aus dem Lagertank gezogenen Kraftstoffproben gab es die häufigsten Grenzwertüberschreitungen bei den Parametern Gesamtverschmutzung (GV) und Oxidationsstabilität. Beinahe die Hälfte der analysierten Kraftstoffproben liegt über dem Grenzwert von 25mg/kg. Jeweils eine Überschreitung des Grenzwertes gab es bei den Parametern Neutralisationszahl, Phosphorgehalt und Wassergehalt.

## Kraftstoffproben aus Traktortank

Bei den untersuchten Traktortankproben wurden bis auf eine Grenzwertüberschreitung bei der Neutralisationszahl lediglich beim Wassergehalt mehrmals nicht kraftstoffverordnungskonforme Ergebnisse erzielt.

Tabelle 39: 10-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
14.11.2004	919	34,50		1,03	5,98	0,077	1
23.03.2005	915	34,08	11,20	2,85	7,61	0,078	1
02.06.2005	918	34,78	9,62	1,80	6,33	0,072	0
15.09.2005	915	34,11	18,23	1,35	7,89	0,075	1
11.01.2006		34,70		0,95	6,15	0,061	0
27.02.2006	913	32,14	17,05	1,43	5,09	0,057	3
10.05.2006	918	34,16		1,77	6,56	0,063	1
14.09.2006	921	34,47	5,68	1,46	9,28	0,064	1
29.11.2006	918	33,41	5,40	0,88	4,22	0,061	2
01.06.2007	919	35,49	12,16	0,86	2,41	0,075	0
11.07.2007	920	35,49	9,32	1,31	9,87	0,062	0
12.10.2007	920	36,37	16,30	0,68	3,60	0,070	0



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Laut den Eintragungen aus dem Traktortagebuch wurde über einen Zeitraum von dreieinhalb Jahren 2.734 Betriebsstunden mit Rapsöl dokumentiert. Insgesamt wurden 26.123 Liter Rapsöl sowie 297 Liter Diesel getankt. Das ergab einen durchschnittlichen Verbrauch von 9,66 Litern/TMh. Der Dieselanteil lag bei diesem Traktor mit einer 1-Tank-System Umrüstung bei 1%. Der Einsatzbereich lag zum überwiegenden Teil im schweren und normalen Lastbereich.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Diese Aufzeichnungen waren neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenquelle zur Beurteilung des Fahrbetriebes.





**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 10 Fendt Vario 412



**Allgemeine Daten:**

Erster Eintrag: 26. Jul. 04 bei TMh: 1066  
 Letzter Eintrag 10. Okt. 07 bei TMh: 3800,4 TMh lt. Traktortagebuch **2734,4**

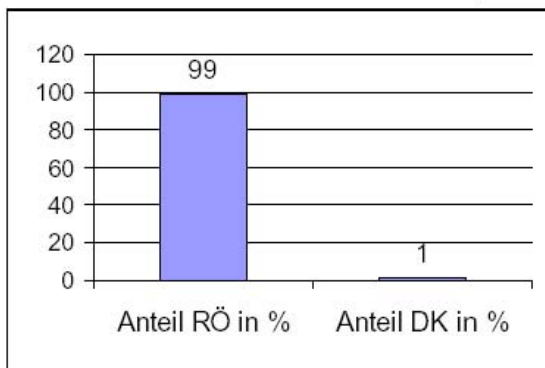
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 265

**Tankmengen:**

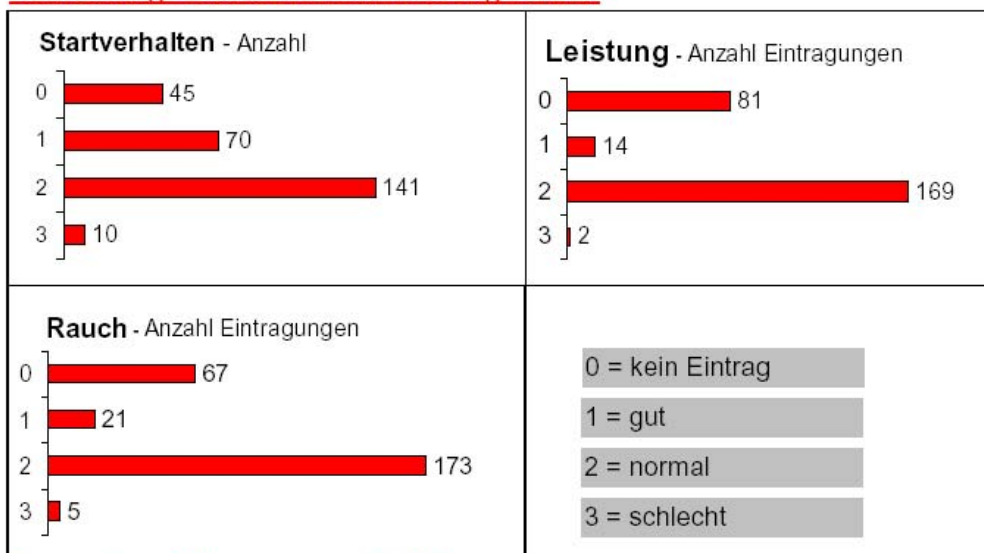
Diesel in l: 297  
 Rapsöl in l: 26123

durchschnittlicher Verbrauch/h:

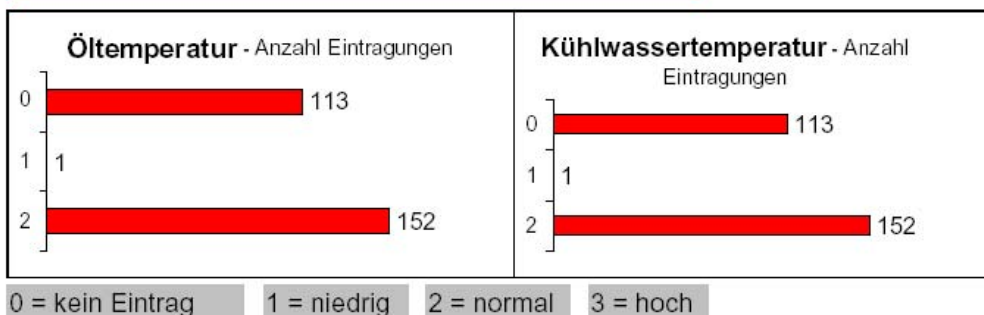
**9,66**



**Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch**



**Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur**



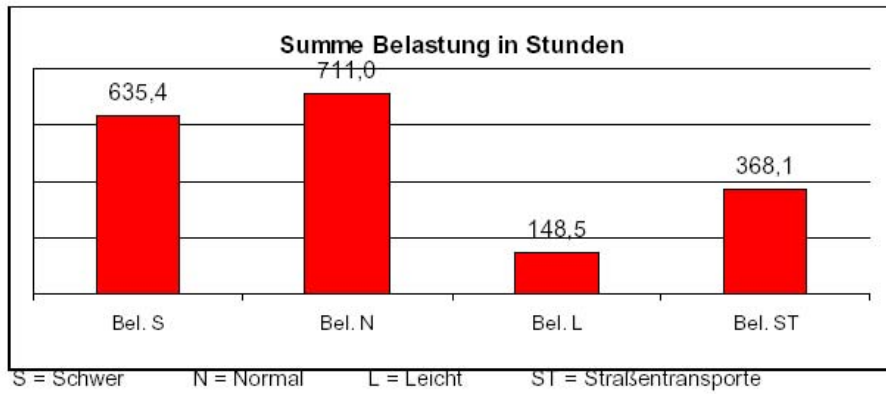


Traktortagebuch

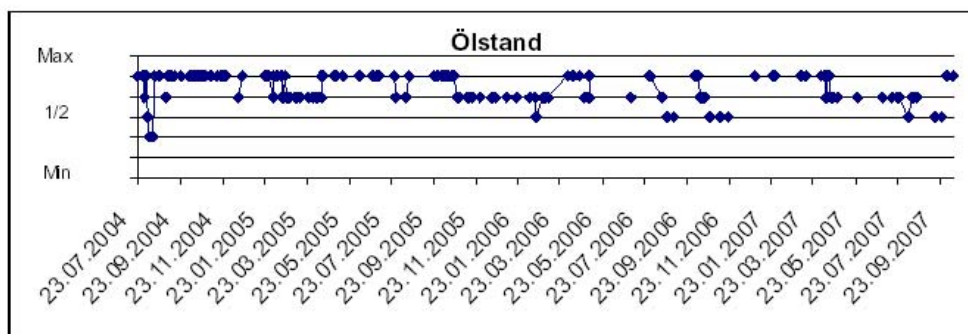
Fahrzeug: 10 Fendt Vario 412



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurden der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende einen geringen Abfall des Druckes. Die Werte der Druckverlustmessung im Brennraum verbesserten sich erheblich. Der Düsenöffnungsdruck erhöhte sich um bis zu 25 bar.

**Tabelle 40: 10-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	32	28	30	2	270	280	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	30	26	40	7	270	295	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	30	26	40	6	270	295	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	28	26	37	8	270	285	i.O.	i.O.	Düse 4

i.O.....in Ordnung

Der Schaft der Einspritzdüsen war mit einem massiven Belag versehen, welcher vielleicht auch durch die Demontage großteils weg gebrochen ist. Die Düsen spitzen zeigten ebenfalls eine dicke Belagskruste, die Düsenlöcher waren jedoch frei.



Abbildung 149: 10-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Die Oberfläche des Zylinderkopfes wies einen dünnen schwarz glänzenden Belag auf, welcher im Randbereich teilweise in eine Kruste überging.



Abbildung 150: 10-OÖ Zylinderkopf

Die Einlassventile waren von einem schwarzen krustenartigen einige Millimeter dicken Belag überzogen. Beim Einlassventil des Zylinders 3 war die Kruste noch stärker ausgeprägt als bei den anderen. Hier war auch der Einlasskanal sehr stark verkrustet.

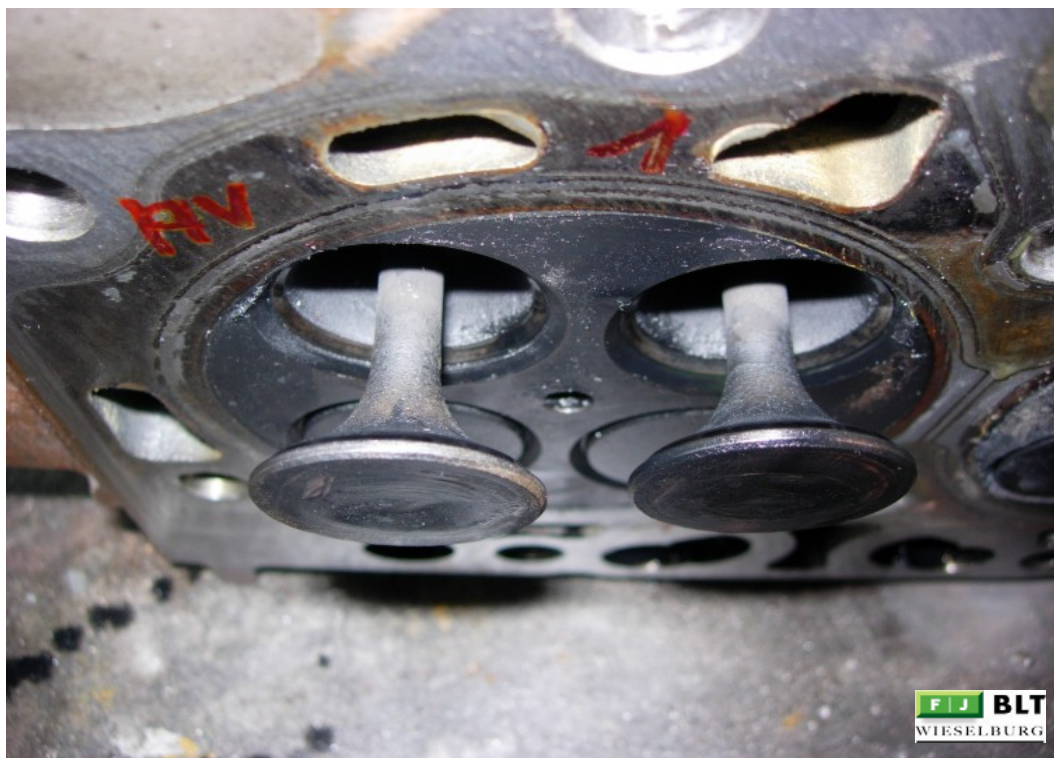


Abbildung 151: 10-OÖ Einlassventile



Abbildung 152: 10-OÖ Einlasskanal Zylinder 3

Die Auslassventile waren mit einem dünnen trockenen russartigen Belag versehen.



**Abbildung 153: 10-OÖ Auslassventile**

Im Feuerstegbereich wurde ein krustenartiger schwarzer Belag festgestellt. Bei Zylinder 2 war der Belag teilweise abgetragen. Der Feuerstegbereich des Kolbens wies an dieser Stelle ebenfalls einen Belag auf. Eine Fühlerlehre (0,2 mm) konnte bei der Kolbenstellung am oberen Totpunkt nicht mehr durchgezogen werden. In der Laufbüchse wurde eine ca. 25 mm breite Schleifspur vom abgetragenen Belag auf etwa 2/3 der Hublänge festgestellt. Im Bereich dieser Schleifspur sind die Honspuren nicht mehr sichtbar. Da an dieser Stelle der Schmierfilm nicht mehr gut anhaften kann, wird diese starke Schleifspur als beginnender Schaden betrachtet.

Bei den übrigen Laufbüchsen war der Feuerstegbereich klar abgegrenzt. Die Laufbahnen waren in einem der Laufzeit entsprechenden Zustand. Die Honspuren waren deutlich sichtbar



Abbildung 154: 10-OÖ Zylinderlaufbüchse Zyl. 2

Die Kolbenböden wiesen einen dünnen feuchten russartigen Belag auf, der in den Randbereichen in eine leichte Krustenbildung überging.

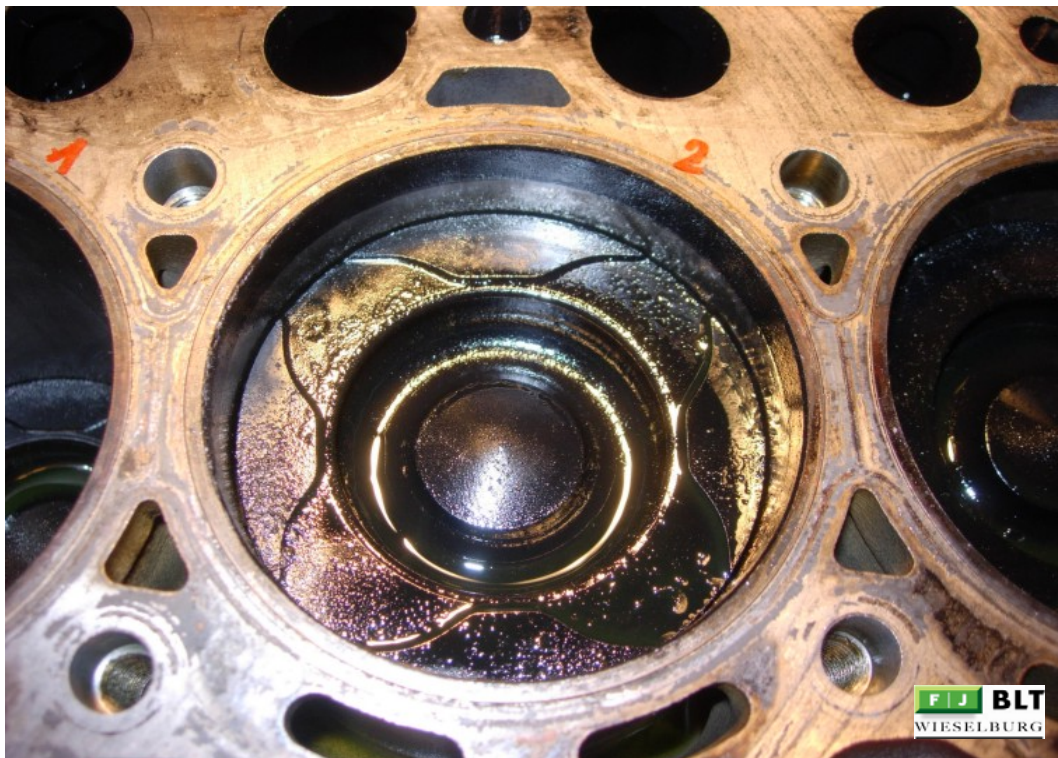


Abbildung 155: 10-OÖ Kolbenboden



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 412 wurde im Juli 2004 bei einer bisherigen Laufleistung von 1.059 Traktormeterstunden von der Firma Deschberger für den Betrieb mit Rapsöl ausgerüstet. Der Traktor wurde im Rahmen des Projektes insgesamt 2.583 Traktormeterstunden mit dem Hausmann 1-Tank Umrüstsystem betrieben.

Der Betrieb des Traktors verlief im Wesentlichen ohne nennenswerte Störfälle. Bei 2.800 TMh wurde die Kraftstoffförderpumpe erneuert.

Die Leistungsmessung ergab bei Dieselbetrieb sowohl zu Beginn als auch bei der Abschlussmessung jeweils einen nahezu identischen Verlauf der Volllastkurve. Die Leistung bei Rapsölbetrieb hat über die Laufzeit leicht abgenommen. Der Dieselmotorkraftstoffverbrauch blieb konstant, jener von Rapsöl wurde entsprechend der Leistungsminderung geringer.

Über die Laufzeit haben die Kohlenmonoxidemissionen deutlich zugenommen, wobei jene bei Dieselbetrieb rund doppelt so hoch als der Durchschnitt aller Traktoren waren. Bei Rapsölbetrieb lagen die CO Emissionen deutlich über dem Mittelwert. Die Kohlenwasserstoffemissionen waren bei Rapsölbetrieb sehr gering. Die Stickoxidemissionen lagen sowohl im Rapsöl- als auch im Dieselbetrieb unter dem Durchschnitt aller untersuchten Traktoren. Parallel zur Zunahme der CO Emissionen, haben die Stickoxidemissionen bei Rapsölbetrieb über die Laufzeit abgenommen.

Der Verlauf der Viskosität bei 40°C bei den Motorölwechselintervallen verlief sehr gleichmäßig mit maximalen Schwankungen von +/- 5%. Die Änderungen der Viskosität bei 100°C waren etwas größer mit einer maximalen Zunahme der Viskosität bei der Altölprobe von 15%. Insgesamt konnten die vorgesehenen Limitwerte jedoch deutlich eingehalten werden. Die Verschleißgeschwindigkeit war bei allen detektierten Elementen deutlich unterhalb des Limitwertes von 0,5 mg/Bh. Der Russgehalt war zwar mit verglichen anderen Traktoren etwas höher, jedoch unbedenklich in Hinsicht auf den Grenzwert. Das Limit eines maximalen Rapsöleintrages von 15% wurde bei einer Probe überschritten.





Bei den Lagertankproben wurde die Grenzwerte der Gesamtverschmutzung und der Oxidationsstabilität von rund der Hälfte der analysierten Proben nicht eingehalten.

Die bei der abschließenden Motoruntersuchung durchgeführte Messung der Kompression zeigte bei Versuchsende einen geringen Abfall des Druckes. Die Werte der Druckverlustmessung im Brennraum verbesserten sich erheblich. Der Düsenöffnungsdruck erhöhte sich um bis zu 25 bar.

Der Schaft der Einspritzdüsen war mit einem massiven Belag versehen, welcher vielleicht auch durch die Demontage größtenteils weg gebrochen ist. Die Düsen spitzen zeigten ebenfalls eine dicke Belagskruste, die Düsenlöcher waren jedoch frei.

Die Einlassventile waren von einem schwarzen krustenartigen einige Millimeter dicken Belag überzogen. Beim Einlassventil des Zylinders 3 war die Kruste noch stärker ausgeprägt als bei den anderen. Hier war auch der Einlasskanal sehr stark verkrustet.

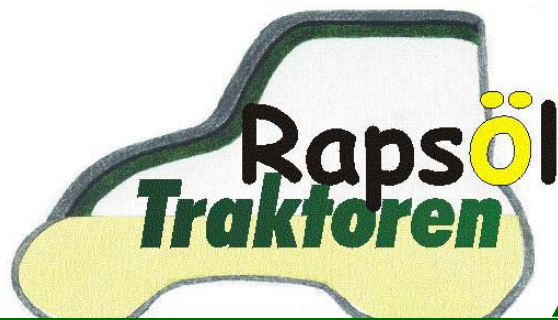
Im Feuerstegbereich wurde ein krustenartiger schwarzer Belag festgestellt. Bei Zylinder 2 ist der Belag teilweise abgetragen. Der Feuerstegbereich des Kolbens wies an dieser Stelle ebenfalls einen Belag auf. Eine Fühlerlehre (0,2 mm) konnte bei der Kolbenstellung am oberen Totpunkt nicht mehr durchgezogen werden. In der Laufbüchse wurde eine ca. 25mm breite Schleifspur vom abgetragenen Belag auf etwa 2/3 der Hublänge festgestellt. Im Bereich dieser Schleifspur sind die Honspuren nicht mehr sichtbar. Da an dieser Stelle der Schmierfilm nicht mehr gut anhaften kann, wird diese starke Schleifspur als beginnender Schaden betrachtet.





11-NÖ

11-NÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt 714</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Juli 2004</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Waldland VWP 1-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.913 Betriebsstunden</b>



**F J BLT**  
WIESELBURG

**Fahrzeugbeschreibung**

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt 714
<b>Motortype</b>	BF6M2013C
<b>Erstmalige Zulassung</b>	21.03.2003
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	00794171
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasserkühlung
<b>Ölfüllmenge</b>	16,5 Liter
<b>Nennleistung</b>	104 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2100 min-1
<b>Hubraum</b>	5702 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hu</b>	98 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	18,5 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch P.L.D.
<b>Einspritzdruck</b>	250 bar
<b>Kraftstofftank</b>	305 Liter
<b>Eigengewicht</b>	6190 kg

**Untersuchungszeitraum**

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Juli 2004
<b>bei TMh</b>	1220
<b>Enduntersuchung</b>	März 2008
<b>bei TMh</b>	4133

**Umrüstung**

<b>Umrüstsystem</b>	Waldland Eintanksystem
<b>Umrüster</b>	Waldland VWP

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme, zeigen jeweils die Werte von Diesel und von Rapsöl der Anfangsuntersuchung, welche jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt werden. Über die Laufzeit hat die Leistung bei beiden Kraftstoffen minimal abgenommen. Bezogen auf die Leistung bei Nenndrehzahl war die Leistung bei Rapsöl annähernd dieselbe, bei Dieselbetrieb erfolgte eine Abnahme um 8%. Die Leistung war sowohl bei der Anfangs- als auch bei der Enduntersuchung bei Rapsölbetrieb etwas höher als bei Dieselbetrieb. Der Kraftstoffverbrauch blieb bei Rapsölbetrieb ident, jener bei Dieselbetrieb sank leicht über die Laufzeit.

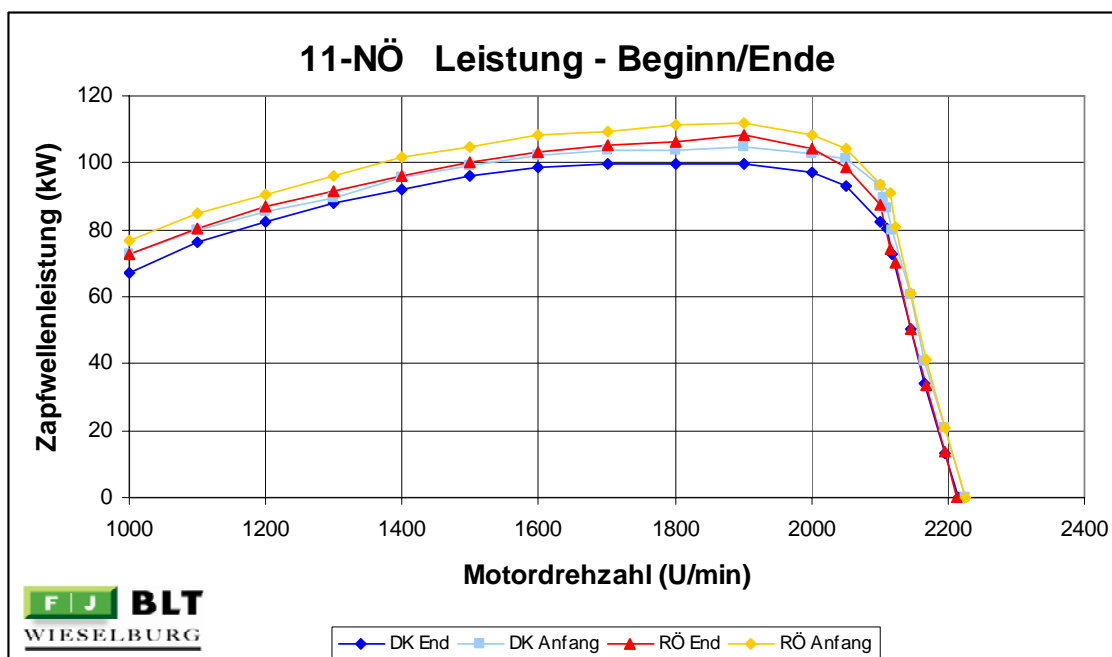


Abbildung 156: 11-NÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

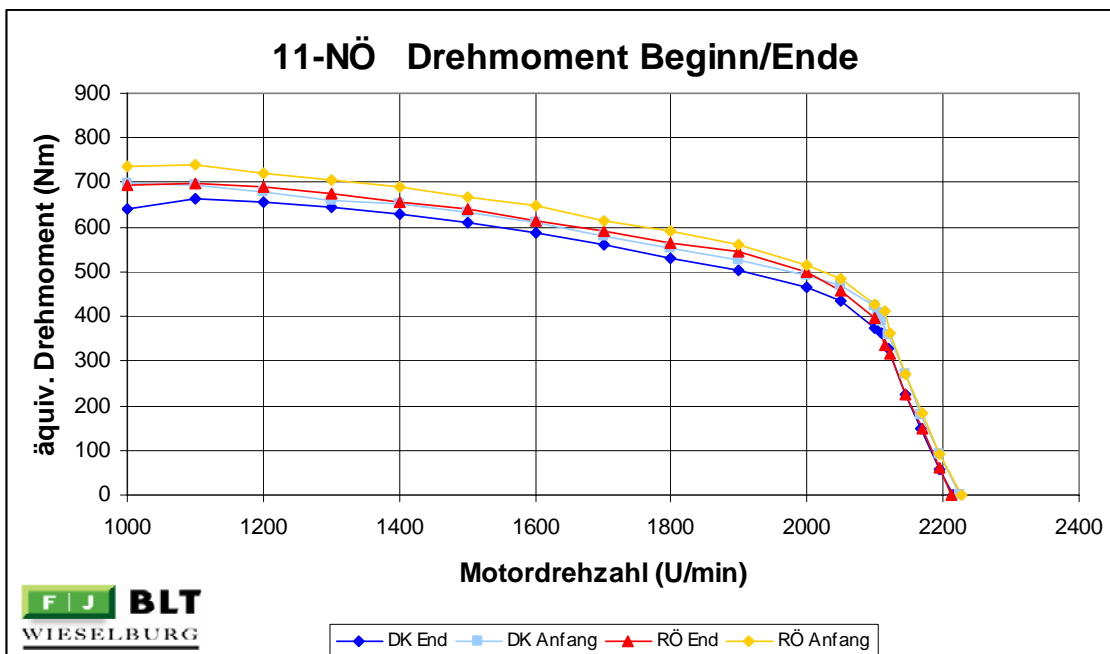


Abbildung 157: 11-NÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

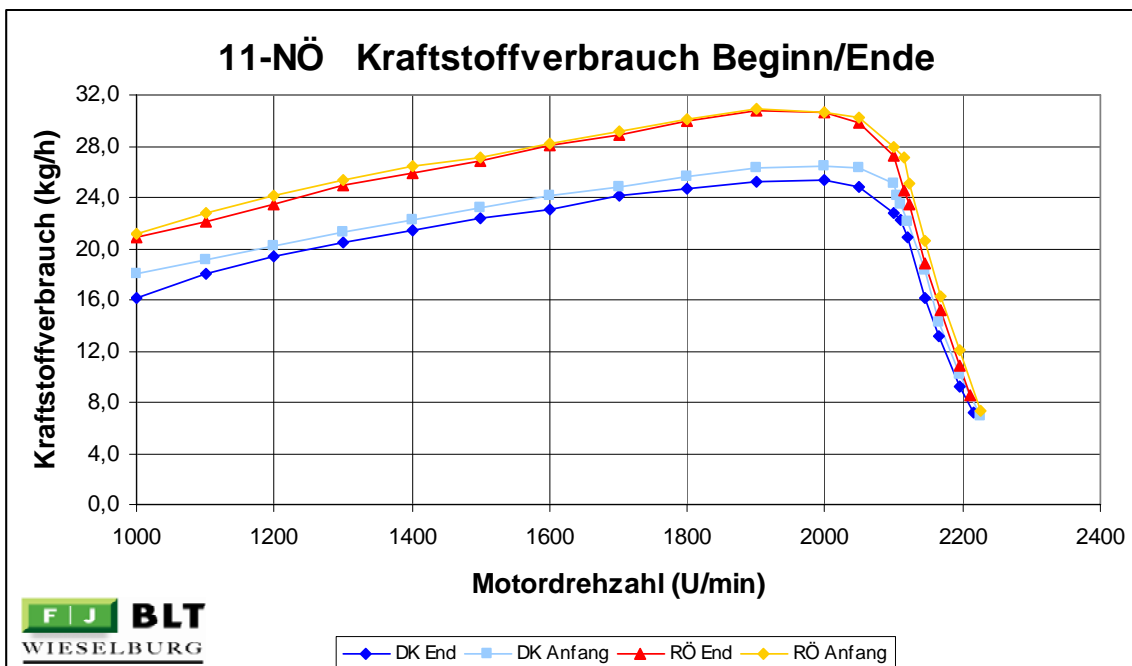


Abbildung 158: 11-NÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

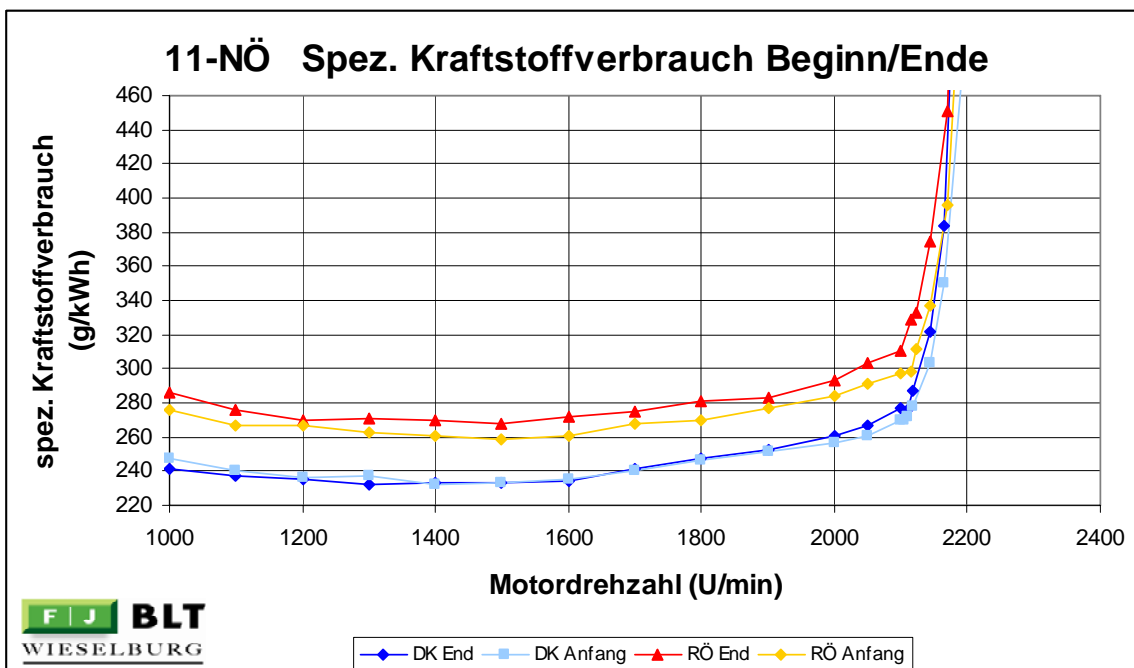


Abbildung 159: 11-NÖ Spez. Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Bei der Endvermessung konnte sowohl bei Betrieb mit Dieselkraftstoff als auch mit Rapsöl ein Anstieg beobachtet werden.

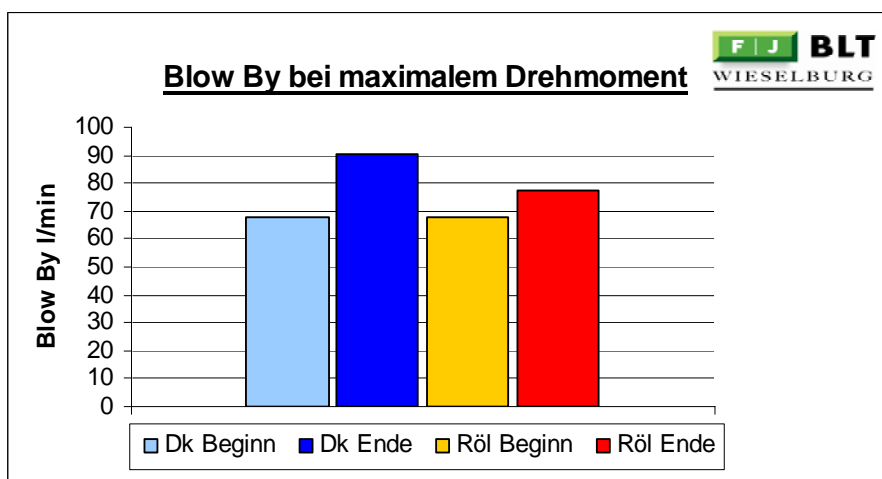


Abbildung 160: 11-NÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment

## Emissionsmessung

Bei der Anfangsuntersuchung waren die CO- und Kohlenwasserstoffemissionen bei Rapsölbetrieb niedriger als bei Dieseltreibstoff. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen lagen bei Dieseltreibstoff unter denen des Rapsölbetriebes. Über die Laufzeit sind die Kohlenmonoxidemissionen bei Rapsölbetrieb gestiegen, sodass sie schlussendlich bei der Enduntersuchung höher waren als jene bei Dieseltreibstoff. Die Kohlenwasserstoff- und NO<sub>x</sub>-Emissionen haben sich über die Laufzeit nur geringfügig bis gar nicht verändert.

**Tabelle 41: 11-NÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende PÖL	Beginn DK	Ende DK
[g/kWh]	21.01.2005	19.03.2008	19.01.2005	20.03.2008
CO	1,22	1,77	1,48	1,44
HC	0,18	0,14	0,57	0,53
NO <sub>x</sub>	11,30	11,30	9,60	10,00

## Partikelmessung

Neben der Emissionsmessung wurde im Rahmen der Enduntersuchung auch eine Partikelmessung mit dem „AVL Smart Sampler SPC 972“ durchgeführt, um zusätzlich Informationen über das Abgasverhalten zu erhalten. Es wurden jeweils zwei Messungen mit Diesel und Rapsöl durchgeführt.

**Tabelle 42: 11-NÖ Ergebnisse Partikelmessung**

[g/kWh]	1. Messung	2. Messung	Datum
RÖ	0,138	0,132	19.03.2008
DK	0,187	0,186	20.03.2008

Die Partikelmasseemission lag bei Rapsölbetrieb deutlich unter der von Dieseltreibstoff. Die Ergebnisse waren im Vergleich zu den übrigen Traktoren sehr niedrig.



## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W-40 von der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden auf Empfehlung des Umrüsters auf 250 Betriebsstunden reduziert.

Während der Projektlaufzeit wurden 10 Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 262 TMh, sowie ein Intervall zu 167 TMh gefahren. Von 47 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C analysiert und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 41% der alle 50 TMh vorgesehenen Proben wurden vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

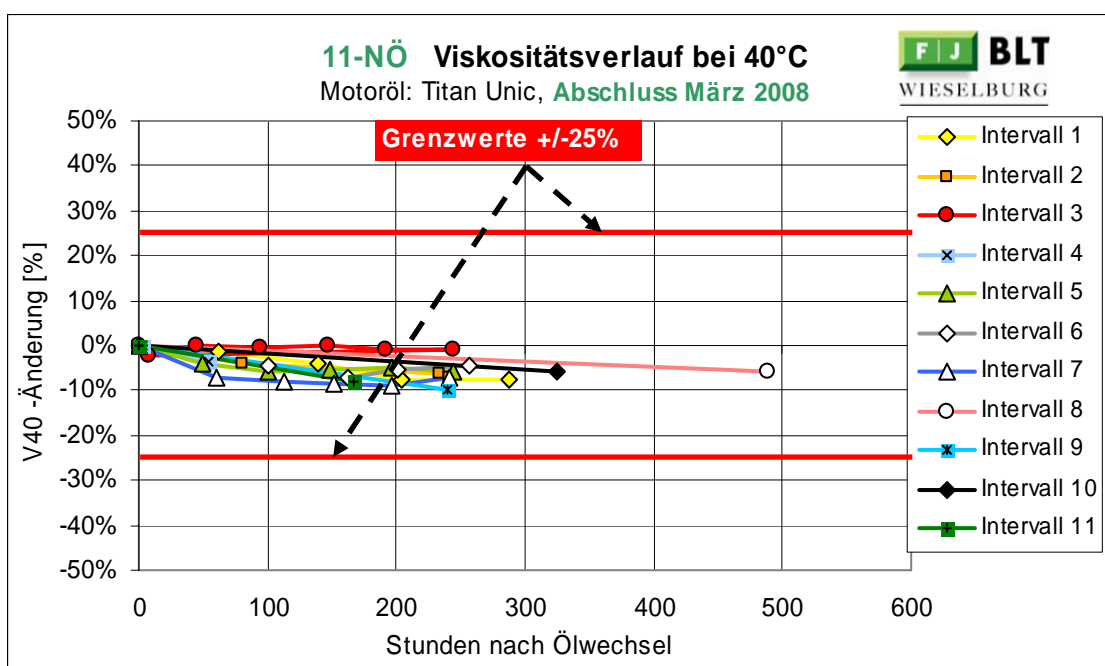


Abbildung 161: 11-NÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Der Verlauf der Viskosität bei 40°C war sehr gleichmäßig, die Änderung der Viskosität der Altölprobe betrug im Schnitt 7% weniger im Vergleich zur 5-min-Probe. Abgesehen von den Intervallen 5 und 6, verlief die Änderung der Viskosität bei 100°C sehr konstant. Die beiden genannten Intervalle wiesen eine Abnahme der V100 von 7 bzw. 11% auf. Insgesamt konnten die vorgegebenen Grenzwerte bei allen Intervallen deutlich eingehalten werden.

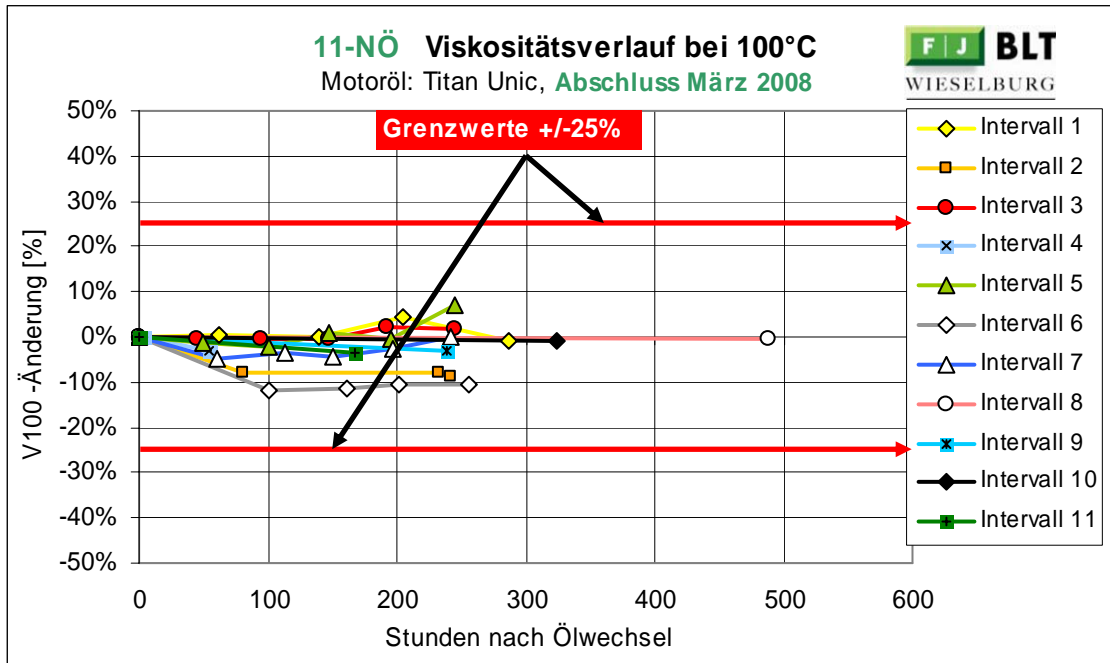


Abbildung 162: 11-NÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

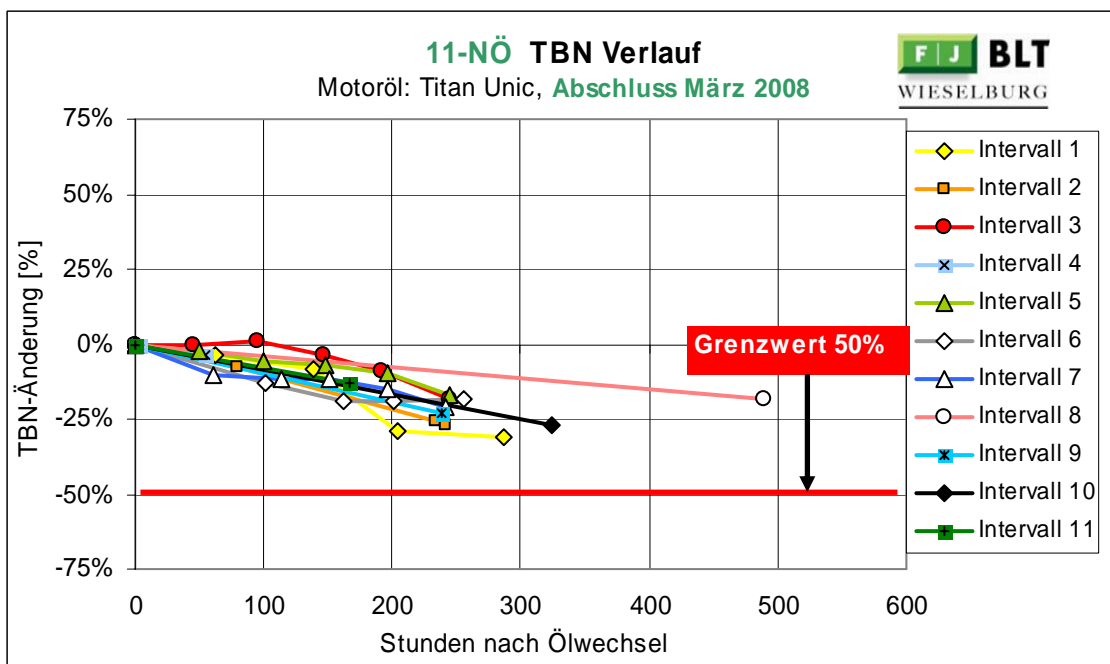


Abbildung 163: 11-NÖ Änderung der Total Base Number

Die Analysenergebnisse der Total Base Number nehmen mit zunehmender Ölalterung ab. Im Schnitt sank die Total Base Number über die Laufzeit der Intervalle um 22%. Der vorgesehene Grenzwert einer maximalen Abnahme der TBN bei der Altölprobe um 50% im Vergleich zur Ausgangsprobe konnte durchgängig eingehalten werden.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 16 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt sowie auf den Gehalt an Verschleißmetallen untersucht wurden. Der geforderte Limitwert für die Verschleißgeschwindigkeit von max. 0,5 Milligramm je Betriebsstunde konnte bei den Verschleißelementen durchgängig eingehalten werden.

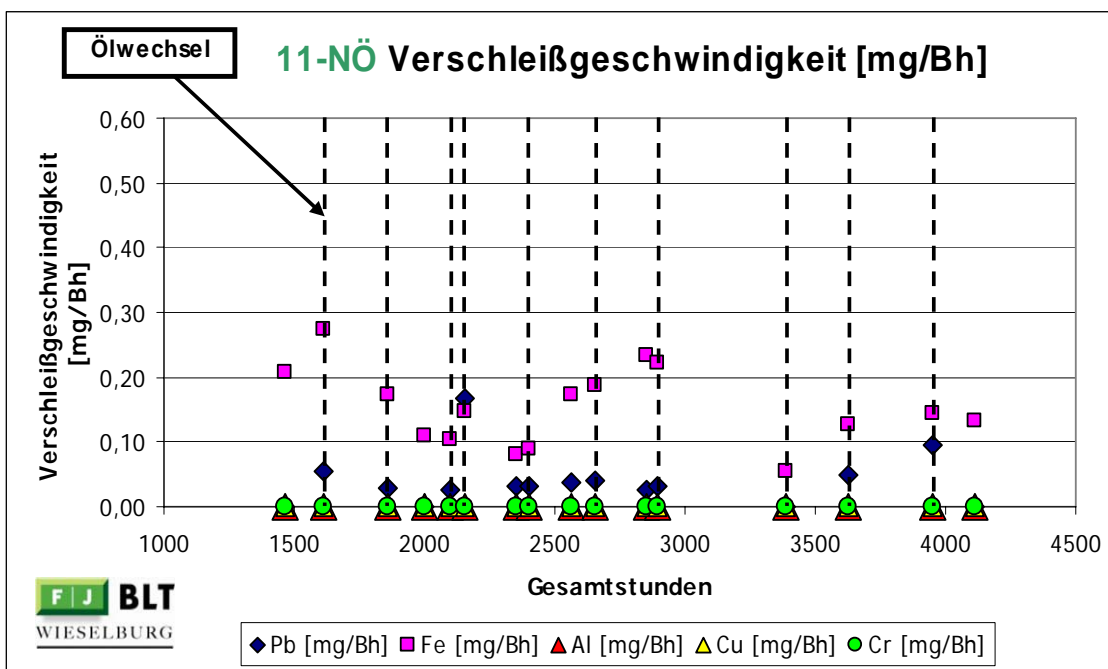


Abbildung 164: 11-NÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Auch der Russgehalt lag deutlich unter dem maximal zulässigen 3% Anteil. Lediglich hinsichtlich des Rapsöleintrages gab es Grenzwertüberschreitungen. Der Grenzwert von maximal 15 % Rapsölgehalt wurde bei Intervall 1, 7 und 9 überschritten bzw. bei den Intervallen 3, 6, 8 und 10 beinahe erreicht.

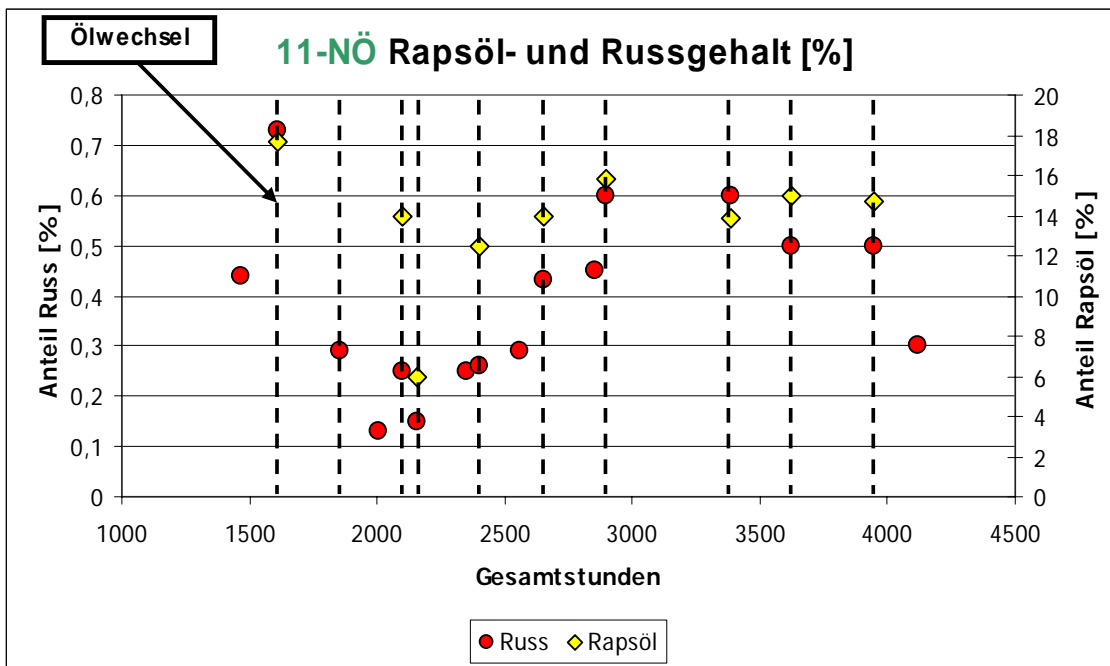


Abbildung 165: 11-NÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

**Kommentar Fa. Fuchs**

Das Verschleißelement Blei ist als kritisch anzusehen. Bei einigen der untersuchten Proben wird der festgelegte Grenzwert von 10 Milligramm je Kilogramm überschritten, im extremsten Fall um das 3-Fache. Ein Trendverlauf ist hier nicht zu erkennen. Ebenso kritisch ist der Kraftstoffeintrag, der sich auf einem hohen Niveau bewegt, wobei der festgelegte Grenzwert von 15% einige Male überschritten wurde. Ansonsten sind die weiteren physikalisch-chemischen Parameter als unkritisch anzusehen.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte aus der Ölmühle Waldland – Öl und Bioenergie Kautzen. Insgesamt wurden 21 Proben aus der Ölmühle, neun Proben aus dem Lagertank, sowie fünf Proben aus dem Traktortank gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die entsprechenden Analyseergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprachen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Beim Parameter Gesamtverschmutzung gab es bei drei Proben Überschreitungen des Grenzwertes. Der Phosphorgehalt erfüllte einmal zu Beginn den Maximalwert von 15 mg/kg nicht. Der Wassergehaltsgrenzwert wurde ebenfalls einmal überschritten.

Tabelle 43: 11-NÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [Masse-%]
01.09.2004	904	24,78	40,75	1,28	4,02	16,63	0,058	13
23.02.2005	917	33,51	33,82	0,54		5,14	0,062	2
01.06.2005	919	34,33	9,90	0,58	5,95	3,83	0,063	1
13.12.2005	916	34,19		1,06	6,82	13,66	0,067	1
02.03.2006	916	34,86	24,80	0,80	6,27	4,46	0,048	0
12.05.2006	913	31,17	7,83	0,75	5,17	5,41	0,062	5
29.09.2006	921	34,58	8,93	0,64		5,89	0,077	1
05.10.2006	918	31,54	15,25	0,62	5,62	5,25	0,068	4
25.05.2007	919	35,08	37,10	1,42	6,17	2,24	0,011	0

#### Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Die Verbesserung der Untersuchungswerte der Gesamtverschmutzung im Vergleich zu jenen Proben aus dem Lagertank konnte zum Teil auf einen Dieselanteil zurückgeführt werden und zum anderen auf unterschiedliche Entnahmestellen. Der Dieselanteil wurde auf Grund des Analysewertes für die Dichte abgeschätzt.

Tabelle 44: 11-NÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
01.09.2004	916	35,18	15,70	1,41	19,58	0,060	0
01.06.2005	919	34,50	6,95	0,55	4,66	0,056	1
15.12.2005	893	13,27	20,65	0,57	5,93	0,045	37
25.10.2006	911	34,25	7,70	0,90	17,56	0,076	1
25.05.2007	919	35,12	19,80	1,26	1,71	0,093	0

Der Grenzwert für den Phosphorgehalt wurde bei den Kraftstoffproben aus dem Traktortank zweimal überschritten. Die letzten beiden gezogenen Stichproben wiesen einen erhöhten Wassergehalt auf, welcher jedoch nicht auf die entsprechenden Lagertankproben zurückgeführt werden konnte.



## 4. Auswertungen Datenlogger

Während der Gesamtbetriebsdauer von 2.913 Stunden im Rahmen des Projekts wurden 1.720 Betriebsstunden mit einem Datenlogger mitgemessen um zusätzliche Aufzeichnungen über die Auslastung bzw. die Art der Tätigkeiten zu erhalten. Über acht Kanäle wurden die Zündspannung, die Drehzahl, sowie die Temperaturen von Ansaugluft, Motoröl, Kühlflüssigkeit, Kraftstofffilter, Kraftstofftank, sowie die Abgastemperatur in 2-Minuten-Intervallen aufgezeichnet.

Hierbei wurden das Laufzeit- und das Startverhalten des Traktors, sowie die Temperaturverläufe der jeweiligen Kanäle aufgezeichnet und ausgewertet.

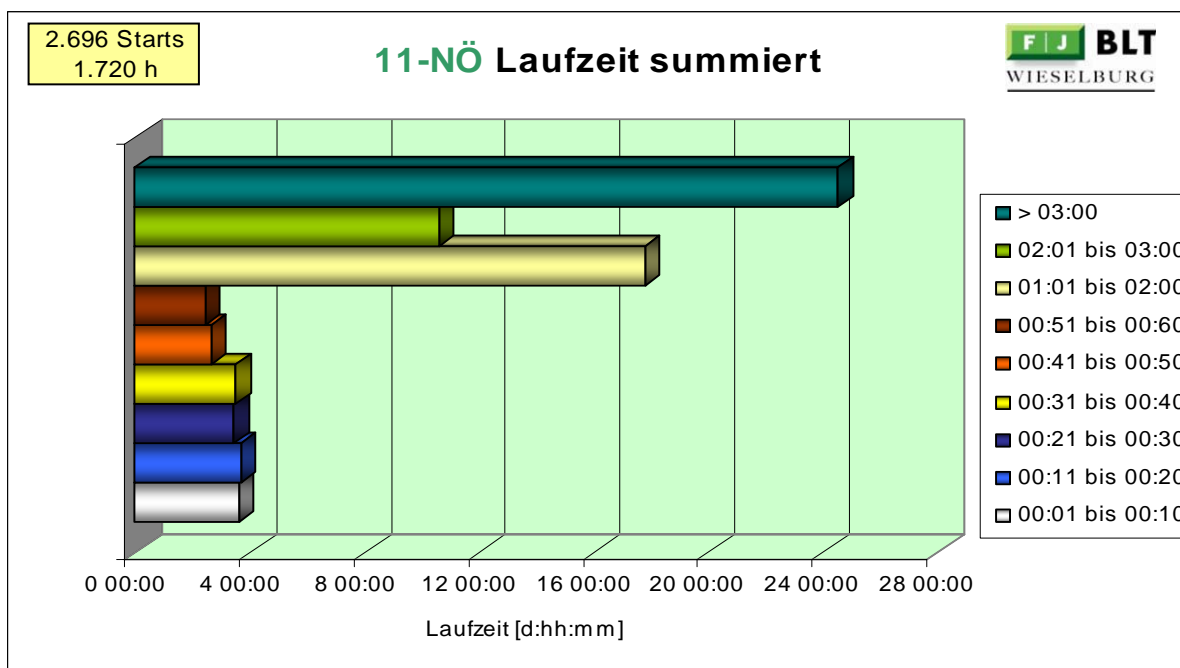


Abbildung 166: 11-NÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit

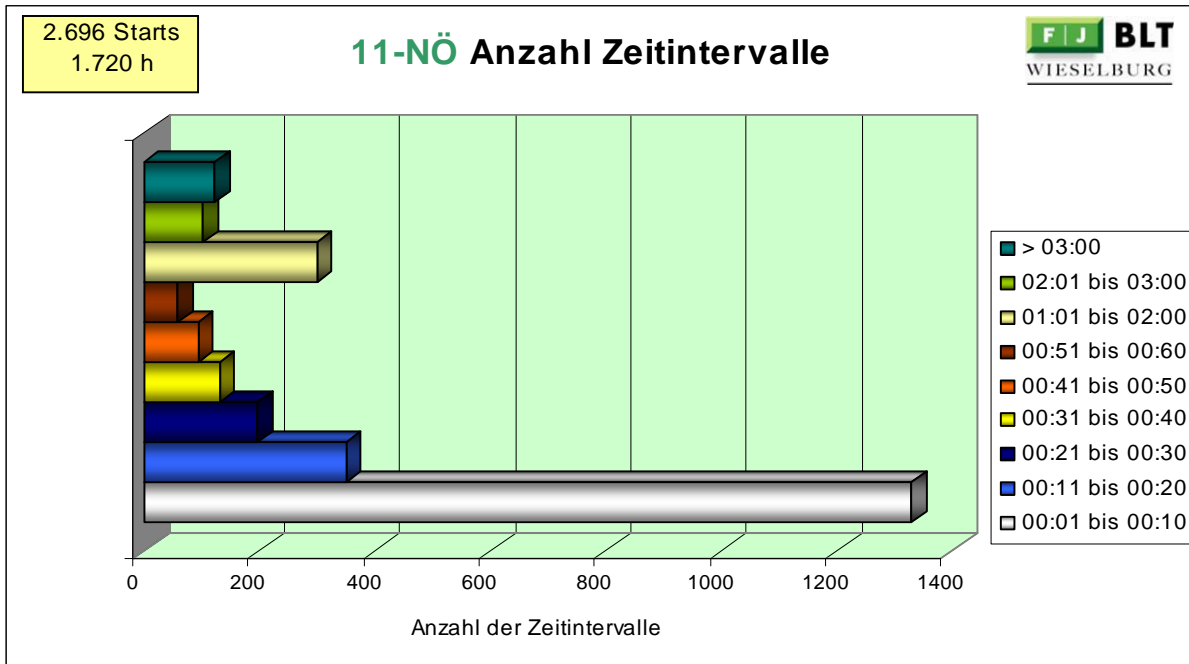


Abbildung 167: 11-NÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Anzahl der Starts

Die tatsächliche Messzeit entspricht nicht zwangsläufig der Gesamtlaufzeit des Traktors, da die Messaufzeichnungen nicht lückenlos geführt werden konnten. Dieser Traktor wurde zum überwiegenden Teil in den Zeitintervallen von „einer bis zwei Stunden“ bis „größer drei Stunden“ betrieben. Das Maximum der absoluten Anzahl an Startvorgängen lag bei Betriebszeiten von „1 bis 10 Minuten“.

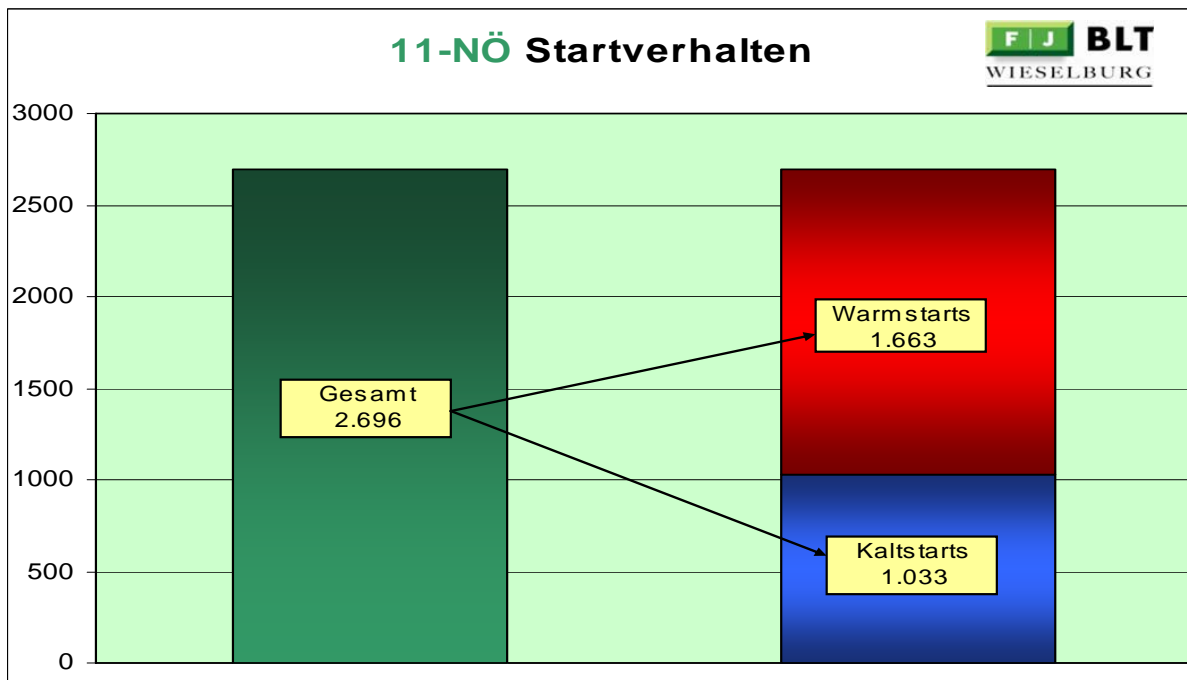


Abbildung 168: 11-NÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts



Um Aussagen über das Startverhalten zu erhalten, wurden Starts mit einer Temperatur der Kühlflüssigkeit bzw. des Motoröles von  $<50^{\circ}\text{C}$  als Kaltstart klassifiziert. In diesem Fall waren über 38% der 2.969 aufgezeichneten Starts Kaltstarts. Damit lag der Traktor etwas über dem Durchschnitt der übrigen ausgewerteten Traktoren.

Nachfolgend sind die Häufigkeitsverteilungen der Kanäle Motoröl-, Kühlflüssigkeit-, sowie Kraftstoffiltertemperatur dargestellt. Die Auswertungen basieren auf jeweils über 48.000 bis über 57.000 Einzelmesswerten. Die Motoröltemperaturmesswerte zeigten ein typisches Verteilungsmuster mit den maximalen Häufigkeiten in einem Temperaturbereich von 90 bis  $110^{\circ}\text{C}$ . Bei der Kühlflüssigkeit war dieses Maximum in einem Bereich von 80 bis  $90^{\circ}\text{C}$  durch die thermostatisch gesteuerten Lüfterlaufzeiten noch deutlicher ausgeprägt. Die Charakteristik der Häufigkeitsverteilung der Temperatur der Kühlflüssigkeit ergibt sich durch das Öffnen des Thermostates bei der vorgegebenen Temperatur.

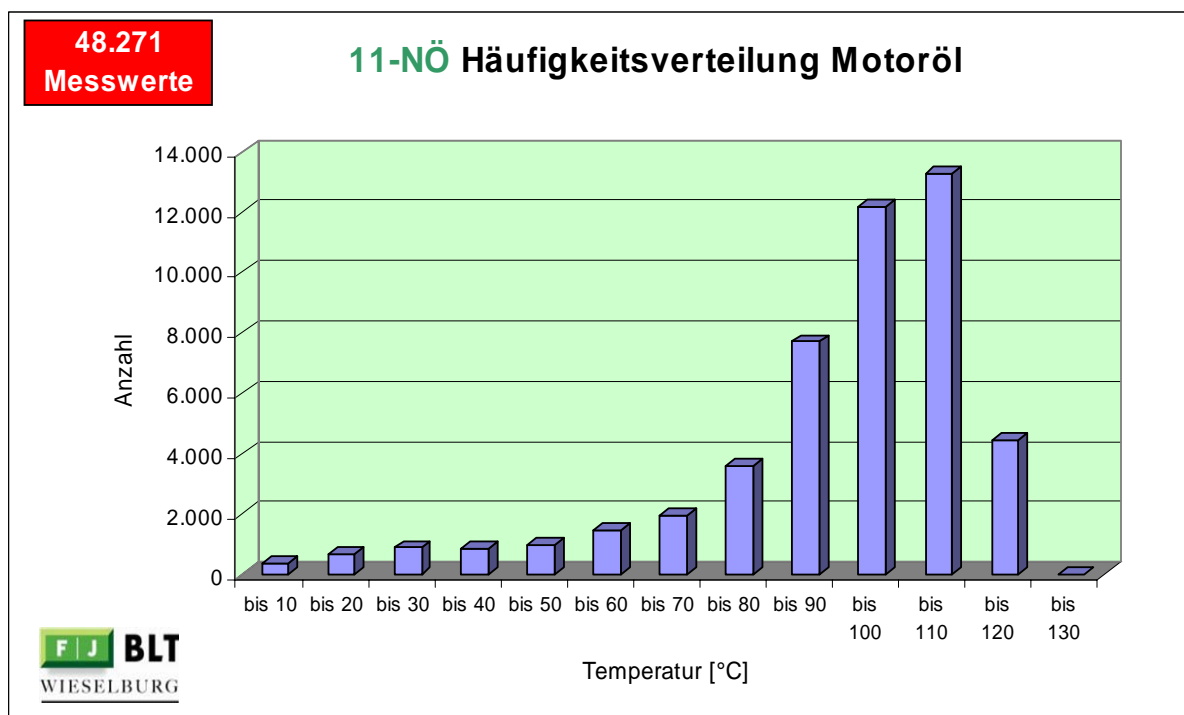


Abbildung 169: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur

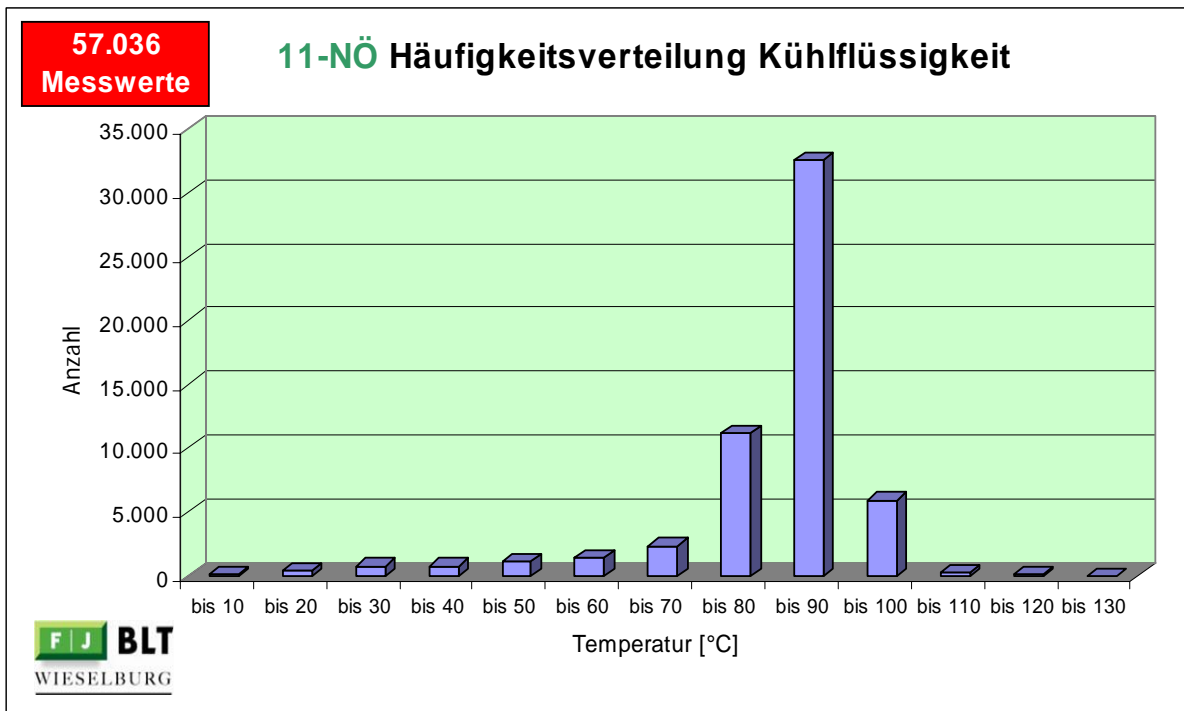


Abbildung 170: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur

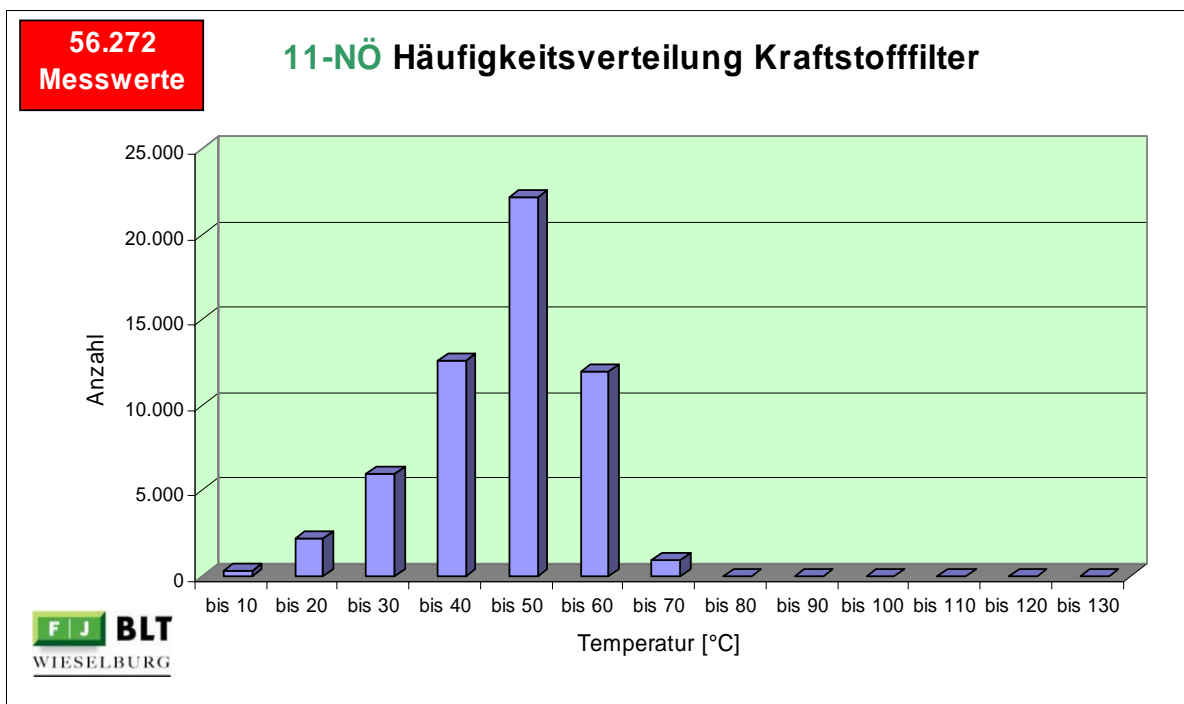


Abbildung 171: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur

Bei den Kraftstofffiltertemperaturmesswerten lag das Maximum im Temperaturbereich von 40 bis 50°C.



## 5. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Durch die Aufzeichnungen wurden 1.397 Betriebsstunden mit Rapsölbetrieb dokumentiert, die jedoch nur einen Teil der innerhalb des Projektes gefahrenen 2.913 Betriebsstunden darstellten. Über den dokumentierten Zeitraum wurden 9.098 Liter Rapsöl sowie 752 Liter Diesel getankt. Daraus errechnete sich ein durchschnittlicher Verbrauch von 7,26 Liter/TMh. Der Dieselanteil lag bei diesem Traktor mit einer 1-Tank-System Umrüstung bei 8%. Der Traktor wurde zum überwiegenden Teil im Bereich Straßentransporte, gefolgt von Arbeiten im schweren und normalen Lastbereich eingesetzt.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Diese Aufzeichnungen waren neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis für die Beurteilung des Fahrbetriebes.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 11 Fendt Vario 714



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 19. Jul. 04 bei TMh: 1220  
 Letzter Eintrag 21. Nov. 05 bei TMh: 2577,4 TMh lt. Traktortagebuch **1357,4**

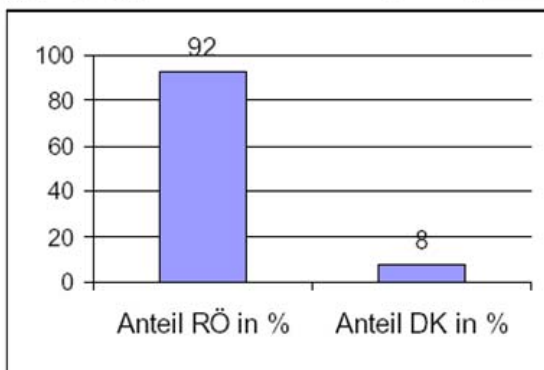
Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 211

Tankmengen:

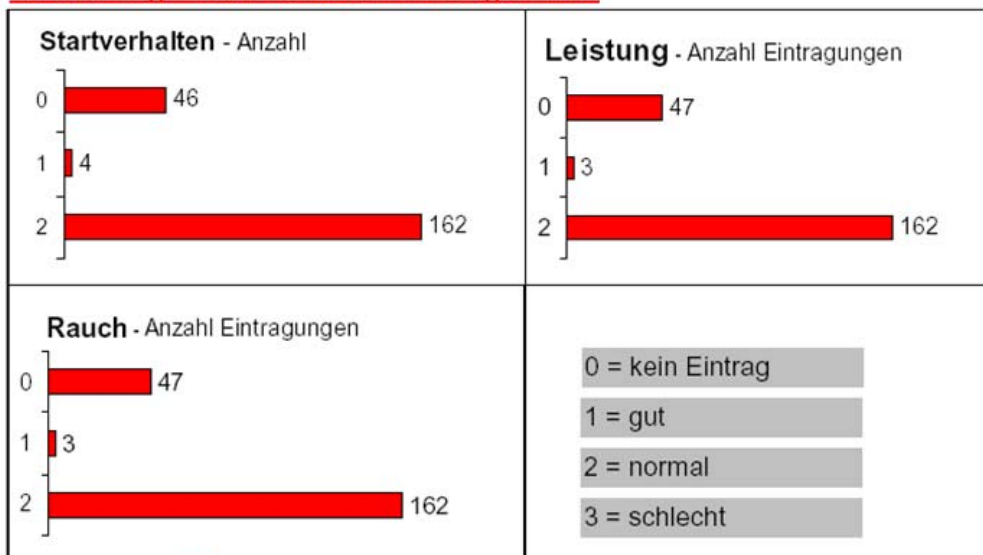
Diesel in l: 752  
 Rapsöl in l: 9098

duchschnittlicher Verbrauch/h:

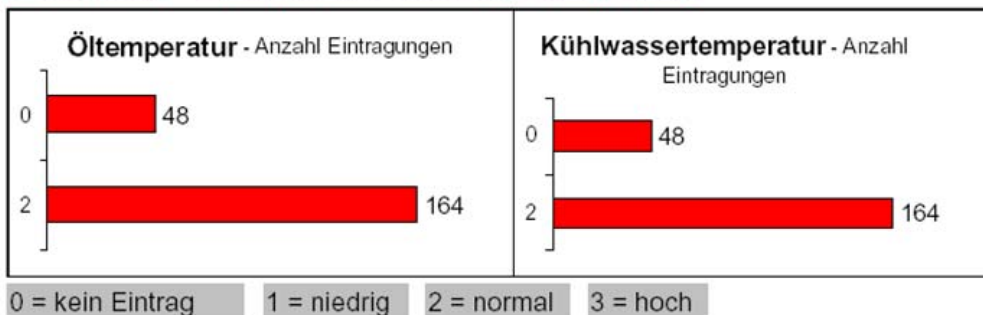
**7,26**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



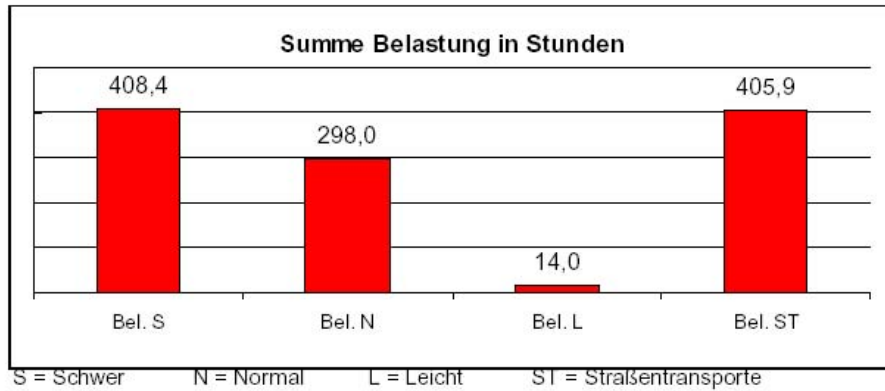


Traktortagebuch

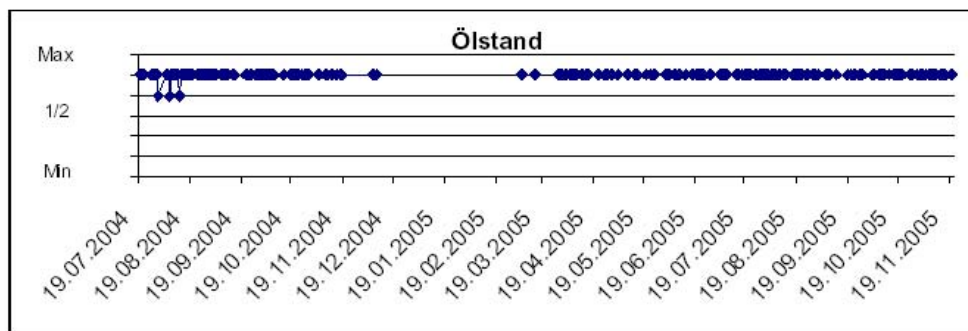
Fahrzeug: 11 Fendt Vario 714



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 6. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen gemessen bzw. angefertigt. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurde der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression bei Versuchsende zeigte eine geringfügige Verbesserung des Kompressionsdruckes. Die Druckverlustmessung im Brennraum lieferte ebenfalls gute Ergebnisse.

**Tabelle 45: 11-NÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	28	31	0	7	280	280	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	28	30	8	5	280	265	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	28	30	4	6	280	270	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	28	30	4	6	285	270	i.O.	i.O.	Düse 4
Zylinder 5	27	30	0	8	275	270	i.O.	i.O.	Düse 5
Zylinder 6	28	30	0	5	290	270	i.O.	i.O.	Düse 6

i.O....in Ordnung

Der Düsenöffnungsdruck zeigte bei Versuchsende in der Tendenz ein geringes Absinken und entsprach somit den Erfahrungen hinsichtlich der Einsatzdauer.

Die Einspritzdüsen wiesen teilweise im Schaftbereich eine Verkrustung auf. Auch die Düsen spitzen zeigten einen krustenartigen Belag. Die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 172: 11-NÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Die Oberfläche des Zylinderkopfes war mit einem schwarzen, feucht glänzenden, Belag versehen. In den Randbereichen war teilweise auch eine geringe Verkrustung zu beobachten.



Abbildung 173: 11-NÖ Zylinderkopf



Abbildung 174: 11-NÖ Einlassventile

An allen Einlassventilen wurde eine massive Belagkruste festgestellt. Auch in den Ansaugkanälen war ein Belag ersichtlich.





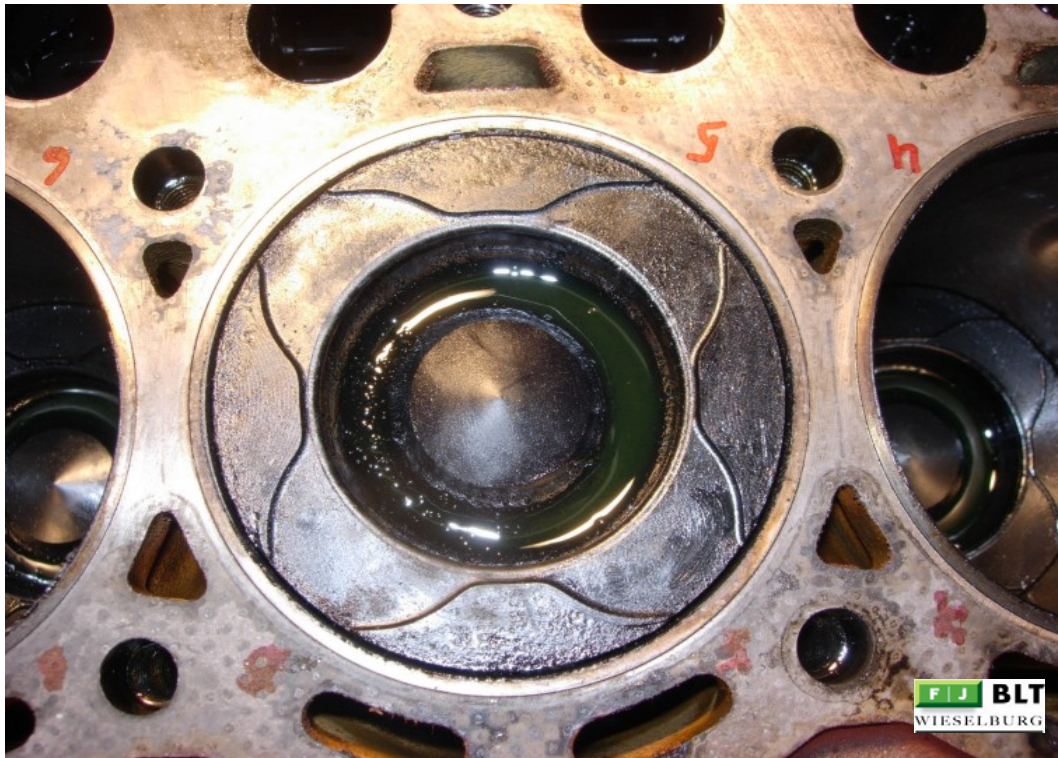
**Abbildung 175: 11-NÖ Auslassventile**

Die Auslassventile waren nicht belegt. In den Auslasskanälen war ebenfalls kein Belag ersichtlich. Das Auslassventil des Zylinders 2 war schwergängig.



**Abbildung 176: 11-NÖ Zylinderlaufbüchse**

Der Feuerstegbereich war zumeist klar abgegrenzt. An einzelnen Stellen hat sich der Koksbelag von den Kolben und den Büchsen berührt und dadurch einen Abtrag der Belagkruste verursacht, dies war insbesondere bei den Zylindern 3 und 6 der Fall. Im Zylinder 6 war der Belag im Feuerstegbereich auf einer Breite von ca. 2,5 cm abgetragen, welcher in eine spiegelnde Spur in der Laufbahn überging.



**Abbildung 177: 11-NÖ Kolbenboden**

Die Kolbenböden waren jeweils schwarz und feucht belegt, wobei der Belag stellenweise rau war. In den Randbereichen war eine leichte Kruste ersichtlich.



## 7. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 714 wurde bereits im Neuzustand von Waldland VWP für den Betrieb mit Rapsöl ausgerüstet und betrieben. Mit 1.220 Traktormeterstunden erfolgte im Juli 2004 die Projektteilnahme. Der Traktor wurde im Rahmen des Projektes 2.913 Traktormeterstunden mit diesem System betrieben.

Während des Versuchszeitraumes wurden vom Betreiber keine Störfälle gemeldet.

Der Leistungsverlauf lag bei Rapsölbetrieb etwas höher als jener bei Dieselbetrieb. Über die Laufzeit hat die Leistung bei beiden Treibstoffen minimal abgenommen. Der Treibstoffverbrauch verringerte sich bei Dieselbetrieb, bei Rapsöl hingegen blieb er konstant.

Bei den gasförmigen Emissionen hat vor allem die Kohlenmonoxidemission bei Rapsölbetrieb zugenommen. Sie lag bei der Enduntersuchung über denen bei Dieselbetrieb. Ansonsten waren die Änderungen der Emissionen über die Laufzeit gering. Die Stickoxidemissionen waren bei Dieselbetrieb niedriger als bei Rapsöl, die Kohlenwasserstoffemissionen bei Rapsölbetrieb deutlich geringer.

Die Ergebnisse der Partikelmessung ergaben bei beiden Kraftstoffen einen im vergleichsweise zufrieden stellend niedrigen Anteil an Partikel. Insgesamt lag die Partikelmasseemission bei Rapsölbetrieb unter der des Dieselbetriebes.

Ein durchgängig homogenes Bild ohne Grenzwertüberschreitungen zeigte sich bei den Motorölanalysen hinsichtlich der Änderung der Viskositäten bei 40°C und 100°C sowie der Total Base Number. Die Verschleißgeschwindigkeit verlief bei den Elementen Blei, Eisen, Aluminium, Kupfer und Chrom deutlich unterhalb des hierfür vorgesehenen Grenzwertes von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde. Probleme gab es hinsichtlich der Einhaltung des maximal zulässigen Rapsölgehaltes. Der Limitwert von 15% wurde mehrmals überschritten bzw. beinahe erreicht.

Die Lagertankproben wiesen analog zu den Proben aus der Ölmühle zu Beginn Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der GV auf. Daneben wurde zweimal ein



deutlich höherer Phosphorgehalt ermittelt, der sich auch bei den entsprechenden Traktortankproben widerspiegelte. Bei den Traktortankproben wurde bei den letzten zwei gezogenen Stichproben ein erhöhter Wassergehalt festgestellt.

Die Auswertungen aus dem Datenlogger ergaben einen hohen aufsummierten Anteil mit Betriebszeiten über einer Stunde. Knapp die Hälfte aller aufgezeichneten Starts wurde jedoch im Bereich der Kategorie „ein bis zehn Minuten“ getätigt. Rund 38 % aller Starts fiel in die Kategorie „Kaltstarts“ mit Motoröl- und Kühlflüssigkeitstemperaturen unter 50°C. Die Häufigkeitsverteilungen der Parameter Motoröl-, Kühlflüssigkeits- und Kraftstofffiltertemperatur zeigten typische Verläufe mit eindeutigen Temperaturmaxima.

Die Motoruntersuchung bei Versuchsende zeigte eine geringfügige Verbesserung des Kompressionsdruckes. Die Druckverlustmessung im Brennraum lieferte ebenfalls gute Ergebnisse. Der Düsenöffnungsdruck zeigte bei Versuchsende in der Tendenz ein geringes Absinken und entsprach den Erfahrungen hinsichtlich der Einsatzdauer. Die Einspritzdüsen wiesen teilweise am Schaft eine Verkrustung auf. Auch die Düsen spitzen zeigen einen krustenartigen Belag.

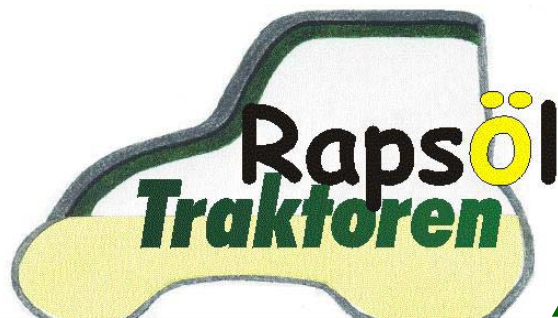
Die Oberfläche des Zylinderkopfes war mit einem schwarzen, feucht glänzenden, Belag versehen. In den Randbereichen war teilweise auch eine Verkrustung zu beobachten.

An allen Einlassventilen wurde eine massive Belagkruste festgestellt. Im Ansaugkanal war ebenfalls ein Belag ersichtlich. Die Auslassventile waren nicht belegt, im Auslasskanal war auch kein Belag vorhanden. Das Auslassventil des Zylinders 2 war schwergängig. Der Feuerstegbereich war zumeist klar abgegrenzt. An einzelnen Stellen hat sich der Koksbelag von den Kolben und den Büchsen berührt und dadurch einen Abtrag der Belagkruste verursacht, dies war insbesondere bei den Zylindern 3 und 6 der Fall. Im Zylinder 6 war der Belag im Feuerstegbereich auf einer Breite von ca. 2,5 cm abgetragen, welcher in eine spiegelnde Spur in der Laufbahn überging. Der Kolbenboden war jeweils schwarz und feucht belegt, wobei der Belag stellenweise rau war. In den Randbereichen war eine leichte Kruste ersichtlich.



12-0Ö

12-0Ö



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>Fendt 818</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Jänner 2006</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>Hausmann 1-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>2.116 Betriebsstunden</b>



F J BLT  
WIESELBURG

### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	Fendt 818
<b>Motortype</b>	BF6M2013C
<b>Erstmalige Zulassung</b>	4.4.2003
<b>Motorhersteller</b>	Deutz
<b>Motor Nr.</b>	BF6M2013C
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasser
<b>Ölfüllmenge</b>	16,5 Liter mit Filter
<b>Nennleistung</b>	123 kW
<b>Nenndrehzahl</b>	2100 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	5702 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	98 x 126 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	18 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch P.L.D.
<b>Einspritzdruck</b>	250 bar
<b>Kraftstofftank</b>	340 Liter
<b>Eigengewicht</b>	6780 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Jänner 2006
<b>bei TMh</b>	2962
<b>Enduntersuchung</b>	März 2008
<b>bei TMh</b>	5078

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Hausmann Eintanksystem
<b>Umrüster</b>	Baywa

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Nachfolgende Diagramme zeigen jeweils die Werte von Diesel und Rapsöl der Anfangsuntersuchung, welche jenen der Enduntersuchung gegenübergestellt werden. Sowohl bei Diesel- als auch bei Rapsölbetrieb konnte bei der Abschlussmessung ein enormer Leistungsverlust festgestellt werden. Die Ursache für den Leistungsverlust war eine defekte Treibstoffförderpumpe.

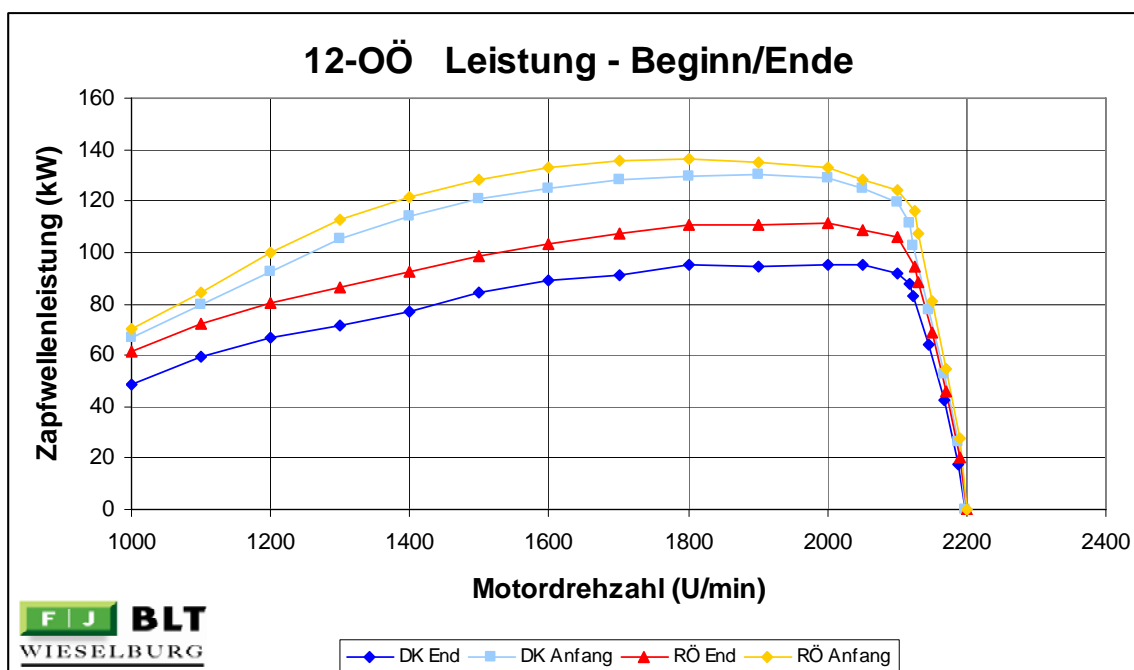


Abbildung 178: 12-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

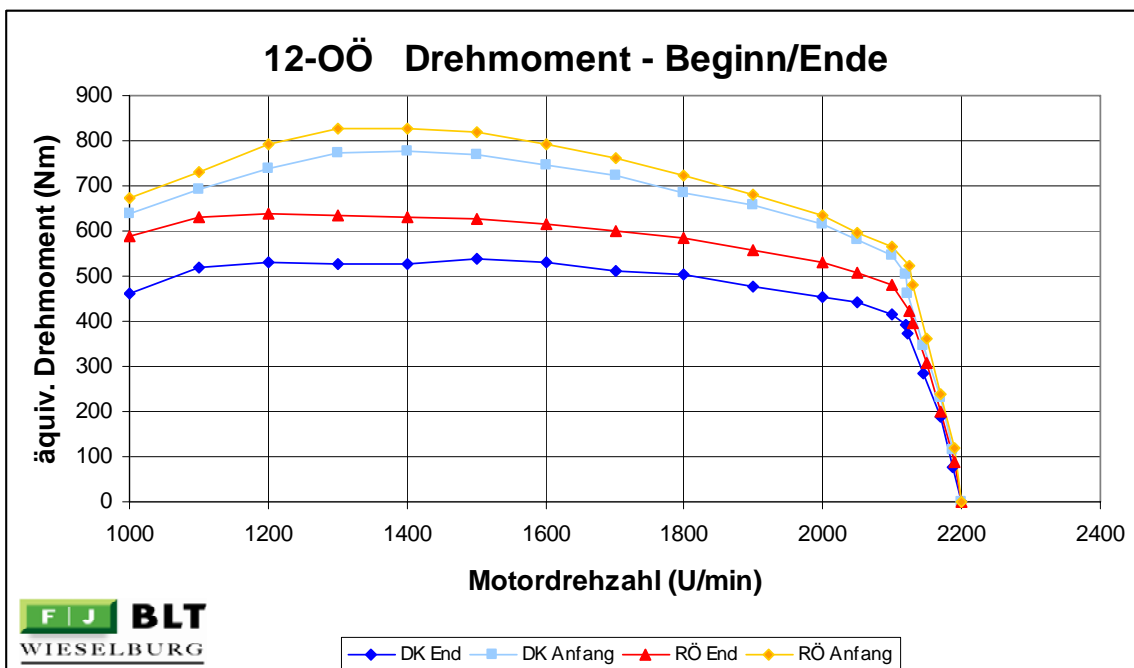


Abbildung 179: 12-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

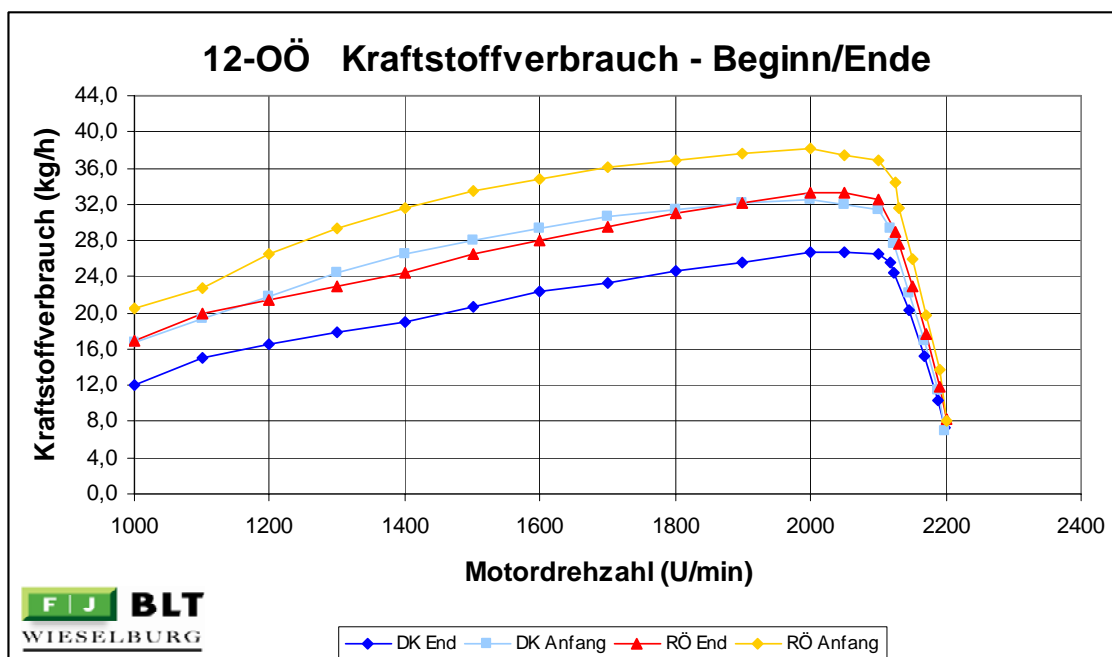


Abbildung 180: 12-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende



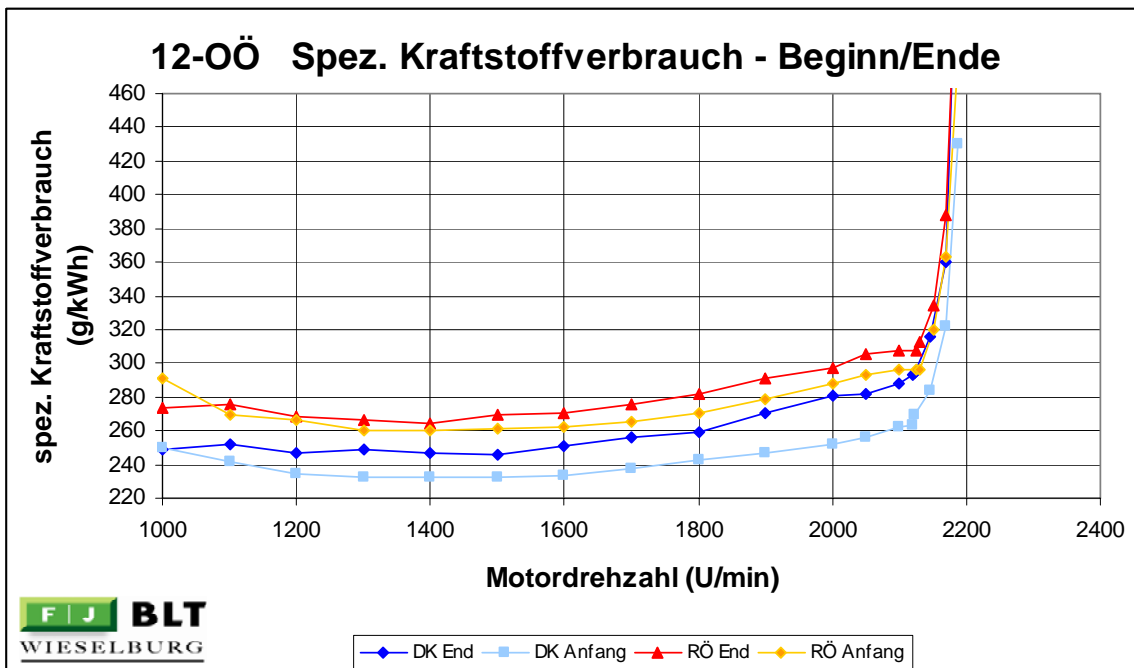


Abbildung 181: 12-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Sowohl bei Betrieb mit Dieselkraftstoff als auch bei Rapsöl lässt sich bei der Endvermessung eine Verringerung der Blow-by Werte beobachten.

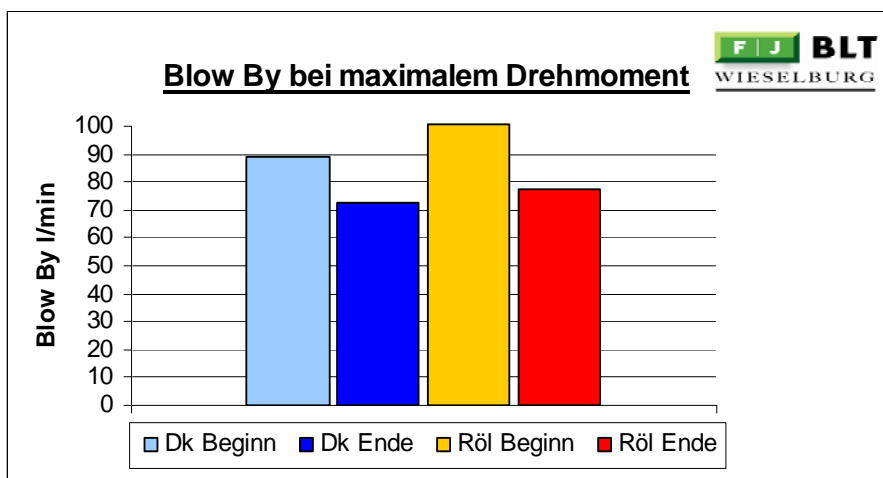


Abbildung 182: 12-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment

## **Emissionsmessung**

Im Rahmen der Abschlussmessung am Motorenprüfstand wurde aufgrund des starken Leistungsverlustes lediglich eine Abgasmessung bei Rapsölbetrieb gemessen, sodass nachfolgend für Diesel die Vergleichswerte der Emissionen fehlen. Die Kohlenmonoxidemissionen waren bei der Anfangsuntersuchung bei Betrieb mit Rapsöl deutlich geringer als bei Dieselkraftstoff. Die Kohlenwasserstoffemissionen lagen bei Rapsölbetrieb bei 30 % des Dieselbetriebes. Gegenläufig waren die Stickoxidemissionswerte, die bei Rapsölbetrieb rund 150 % der entsprechenden Werte bei Dieselbetrieb erreichten.

**Tabelle 46: 12-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Ende RÖ	Beginn DK
[g/kWh]	26.04.2006	11.03.2008	24.04.2006
CO	0,87	1,03	1,77
HC	0,13	0,11	0,43
NOx	15,16	9,10	9,70

## **Partikelmessung**

Neben der Emissionsmessung wurde im Rahmen der Enduntersuchung auch eine Partikelmessung mit dem „AVL Smart Sampler SPC 972“ durchgeführt, um zusätzlich Informationen über das Abgasverhalten zu erhalten. Es wurden zwei Messungen bei Betrieb mit Rapsöl durchgeführt.

**Tabelle 47: 12-OÖ Ergebnisse Partikelmessung**

[g/kWh]	1. Messung	2. Messung	Datum
RÖ	0,102	0,129	11.03.2008

Beide Messergebnisse liegen, verglichen mit den übrigen Partikelmessungen, im Durchschnittsbereich.



## 2. Motorölanalysen

Im Zuge der Umrüstung wurde der Traktor mit dem Motoröl BayWa Super Truck 1040 MC befüllt und in der Folge laut Angaben des Betreibers damit ca. 600 Traktormeterstunden betrieben. Der Betreiber hat während dieses ersten Intervalls keine Proben entnommen. Ab dem zweiten Wechselintervall wurde zur Motorschmierung das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W-40 von der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 500 Betriebsstunden, diese Werte wurden vom Betreiber beibehalten.

Während der Projektlaufzeit wurden 3 Ölwechselintervalle zu einem Mittelwert von 487 TMh untersucht. Von 23 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskositäten bei 40°C und bei 100°C gemessen und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) ermittelt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt wurden 54% der alle 50 Betriebsstunden zu ziehenden Motorölproben vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

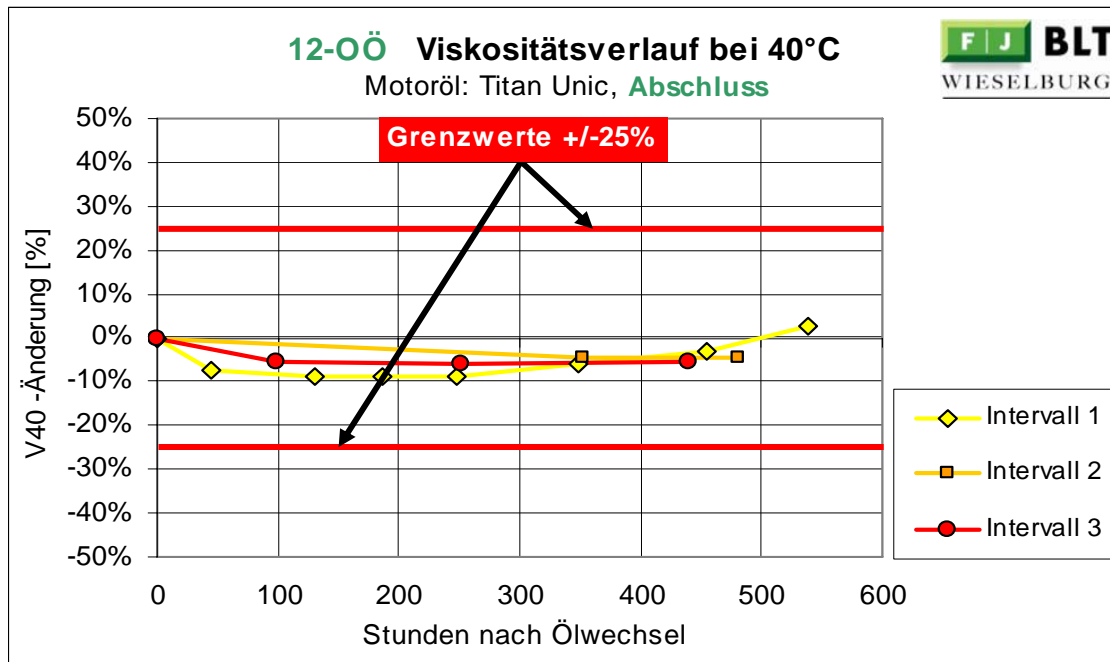


Abbildung 183: 12-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Die Analysenwerte der Viskosität bei 40°C waren sehr gleichmäßig. Die maximalen Änderungen traten im ersten Intervall mit einer Verminderung um rund 10 % auf. Bei der Viskosität bei 100°C wurde im Intervall 1 am Ende ein etwas höherer Anstieg von 15% festgestellt. Insgesamt lagen die Viskositätsanalysenergebnisse aller Intervalle doch deutlich innerhalb der hierfür vorgesehenen Limitwerte.

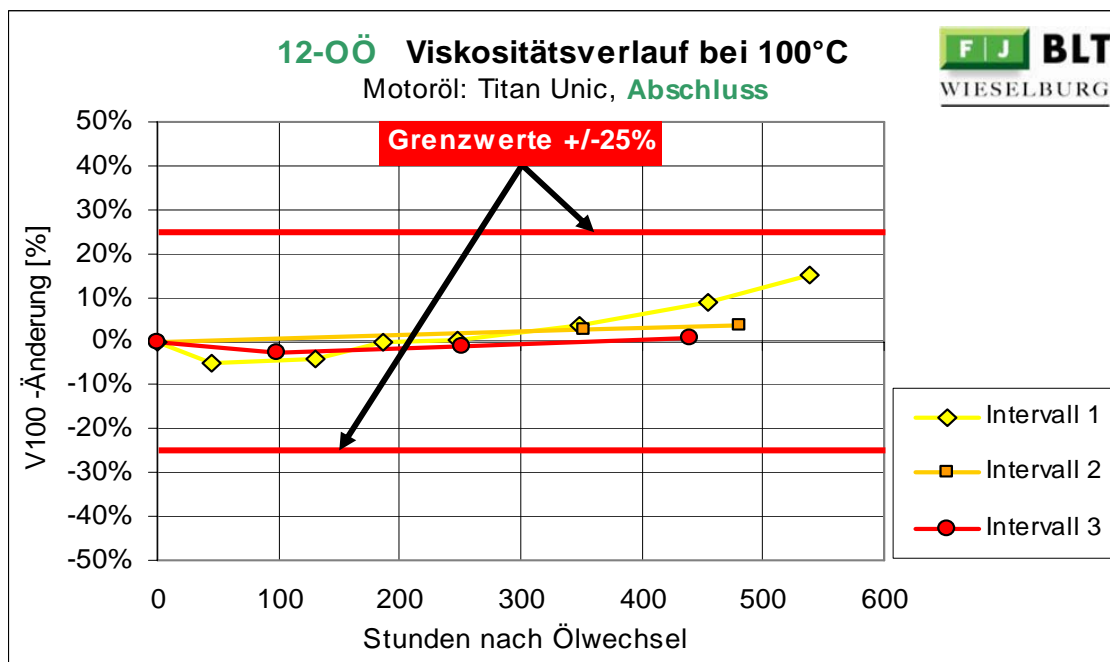
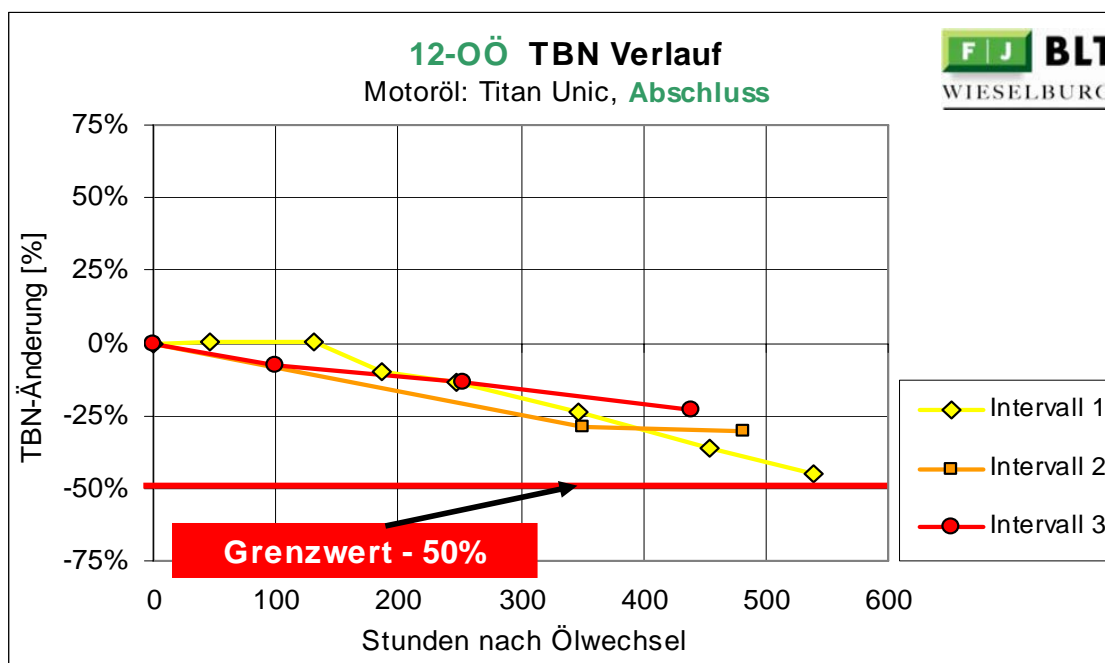


Abbildung 184: 12-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C



**Abbildung 185: 12-OÖ Änderung der Total Base Number**

Die Total Base Number nimmt mit zunehmender Ölalterung ab. Bei allen Intervallen war eine vergleichsweise starke Abwärtsbewegung erkennbar. Die Motorölwechselprobe des ersten Intervalls zeigte eine bereits grenzwertig niedrige TBN.

Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motorenöles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 11 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt, sowie auf den Gehalt der Verschleißelemente untersucht wurden. Bei den Verschleißelementen Aluminium, Kupfer und Chrom waren die Analysenwerte für die Verschleißgeschwindigkeit sehr niedrig. Im Intervall 1 wurden zwei Grenzwertüberschreitungen beim Element Blei festgestellt, im Intervall 2 gab es zwei dem Limitwert von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde sehr nahe liegende Werte des Bleigehaltes. Auch die Verschleißgeschwindigkeit von Eisen liegt beinahe bei der Hälfte der analysierten Proben nahe dem Limitwert.

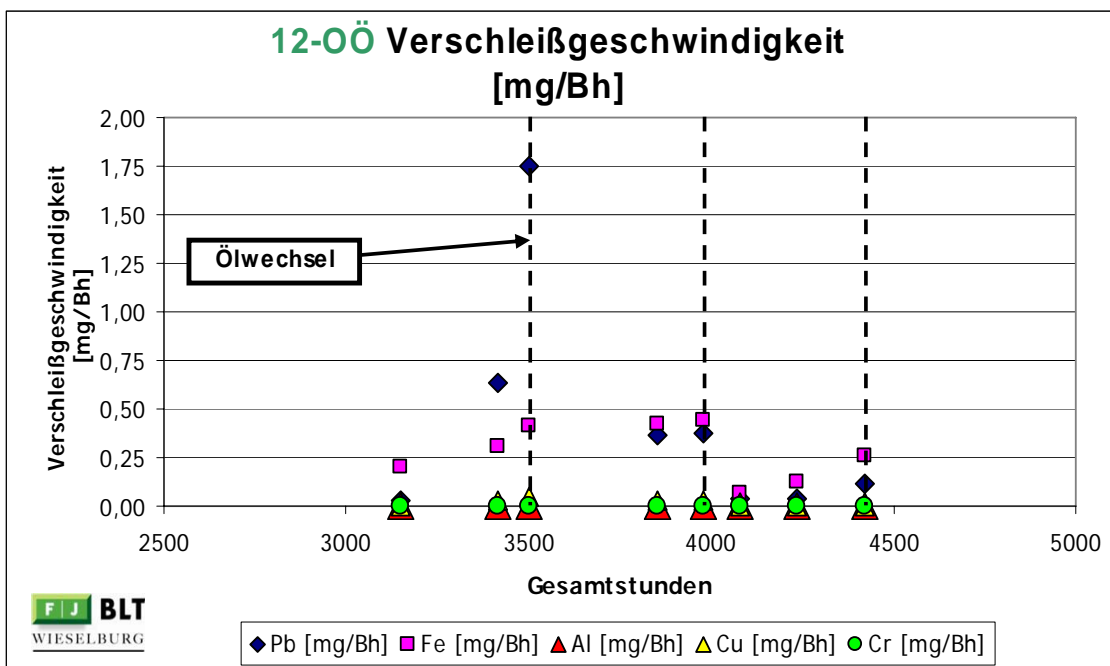


Abbildung 186: 12-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

Die Russgehalte der untersuchten Motorölproben lagen durchwegs unter dem vorgegebenen Limitwert von 3%. Beim Rapsölanteil gab es eine Grenzwertüberschreitung im ersten Ölwechselintervall. Die beiden nachfolgenden Ölwechselproben enthielten rund 12 bis 13 % Rapsöl.

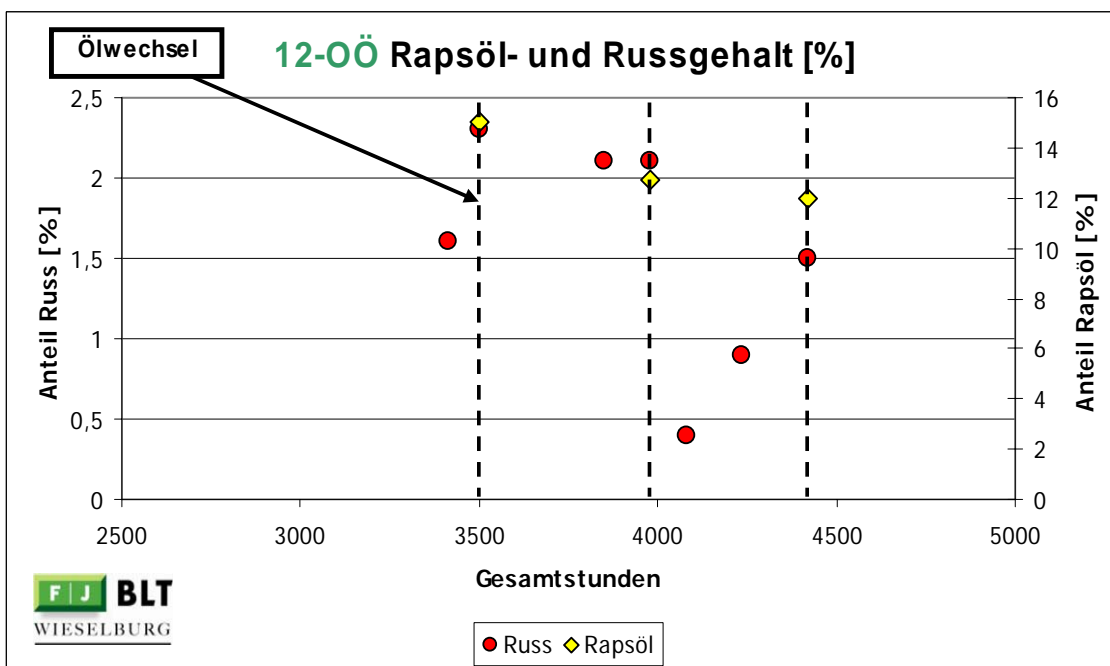


Abbildung 187: 12-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben



### **Kommentar Fa. Fuchs**

Auffällig ist der teilweise recht hohe Bleigehalt in den Motorölproben, der im extremsten Fall den festgelegten Grenzwert von 10 Milligramm um das 20-fache (!) übersteigt. Allerdings zeigte sich schon in der Vorbefüllung dieses Problem, hier wurde der Grenzwert in einem Fall sogar um mehr als das 30-fache (!) überschritten. In der Tendenz nehmen mit steigenden Betriebsstunden der Russ- und Eiseneintrag zu, wobei bei einer Laufzeit von etwa 500 Betriebsstunden die festgelegten Grenzwerte erreicht bzw. teilweise überschritten werden. Für den Kraftstoffeintrag kann keine eindeutige Tendenz abgeleitet werden, da hier nur Proben mit hohen Laufzeiten untersucht wurden. Drei von vier Proben liegen dabei im Kraftstoffeintrag auf einem sehr hohen Niveau in der Nähe des Grenzwertes; die vierte Probe liegt deutlich unter dem Grenzwert. Die TBN nimmt mit steigender Laufzeit ab und erreicht bei etwa 500 Betriebsstunden das untere Limit. Die Viskositätsabweichung bleibt mit einer Ausnahme innerhalb des Limits und nimmt von der Tendenz mit steigender Betriebsstundenzahl leicht zu.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl stammte aus der Ölmühle Innöl CoKG aus Mining in Oberösterreich. Insgesamt wurden 5 Kraftstoffproben aus dem Lagertank, 8 Proben aus dem Traktortank, sowie 44 Proben aus der dazugehörigen Ölmühle Innöl gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analysenergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprachen nicht der Qualität der österreichischen Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Bei den gezogenen Stichproben aus dem Lagertank gab es, bis auf je eine Ausnahme bei den Parametern Wassergehalt und Oxidationsstabilität, keine Grenzwertüberschreitungen.

Tabelle 48: 12-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
29.03.2006	916	34,44		1,19		7,26	0,067
11.07.2006	919	34,95	8,08	1,35	1,40	8,93	
24.08.2006	919	35,18	5,20	0,88	6,35	5,22	0,060
11.05.2007	919	35,41	10,20	0,78	7,52	4,64	0,073
13.07.2007	919	35,46	19,76	0,91	5,89	6,66	0,080

#### Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Die beiden Grenzwertüberschreitungen des Wassergehaltes bei den Traktortankproben haben sich bei den entsprechenden Lagertankproben bereits abgezeichnet. Die Unterschreitungen der Dichtegrenzwerte waren auf einen erhöhten Dieselanteil zurückzuführen. Die restlichen Analysenwerte erfüllten die festgelegten Grenzwerte.



Tabelle 49: 12-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	V40 [mm <sup>2</sup> /s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
29.03.2006	912	29,75		1,19	5,13	0,059	6
20.04.2006	914	30,32	20,03	1,10	6,22	0,053	6
18.07.2006	890	14,19	14,08	0,91	5,11	0,042	35
24.08.2006	863	7,12	9,40	0,49	2,73	0,030	61
31.10.2006	919	34,65	14,08	0,79	7,60	0,068	1
28.03.2007	919		16,95	0,89	3,62	0,059	0
11.05.2007	919	35,10	10,20	0,76	4,28	0,076	0
13.07.2007	918	34,10	17,44	0,89	11,88	0,082	1

## 4. Auswertungen Datenlogger

Während der Gesamtbetriebsdauer von 2116 Traktormeterstunden wurden 907 Stunden mit einem Datenlogger mitgemessen um zusätzliche Aufzeichnungen über die Auslastung bzw. Art der Tätigkeiten zu erhalten. Über acht Kanäle wurden die Zündspannung, die Drehzahl, sowie die Temperaturen von Ansaugluft, Motoröl, Kühlflüssigkeit, Kraftstofffilter, Kraftstofftank, sowie die Abgastemperatur in 2-Minuten-Intervallen gemessen. Nachfolgend sind die ausgewerteten Ergebnisse grafisch dargestellt.

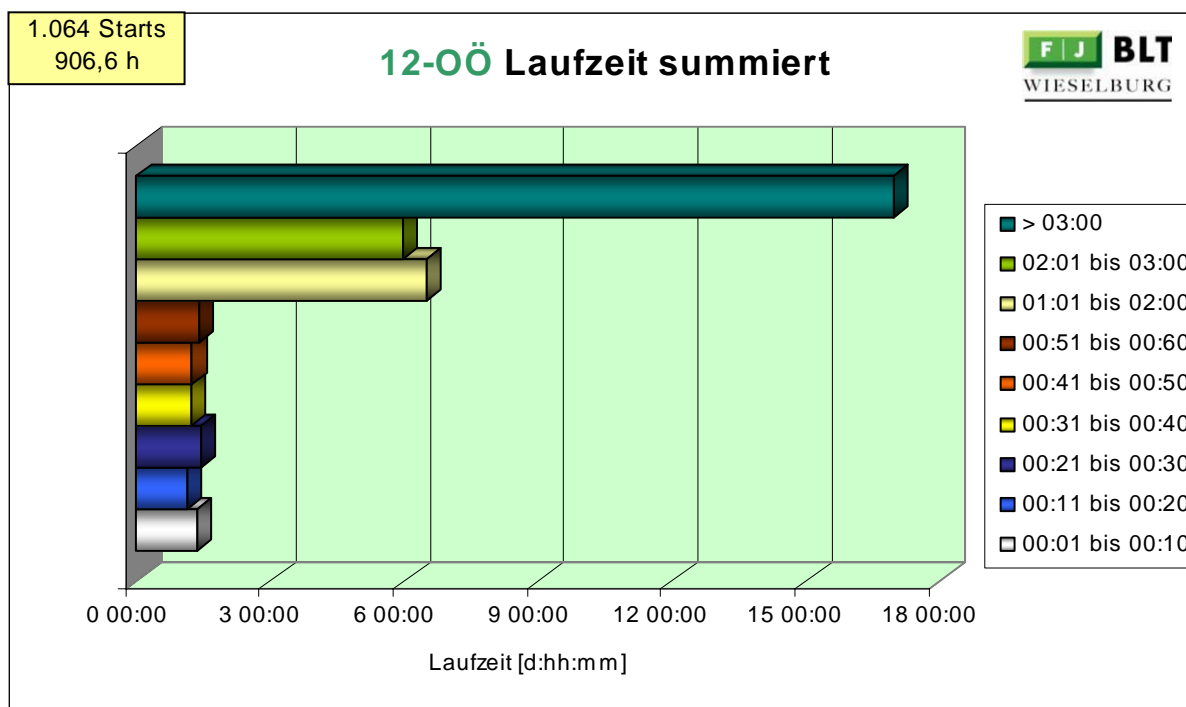


Abbildung 188: 12-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit

Der Traktor wurde zum überwiegenden Teil im Zeitintervall „größer drei Stunden“ eingesetzt. Die aufsummierten Betriebszeiten ergaben für diese Kategorie eine absolute Gesamtzeit von beinahe 400 Betriebsstunden.

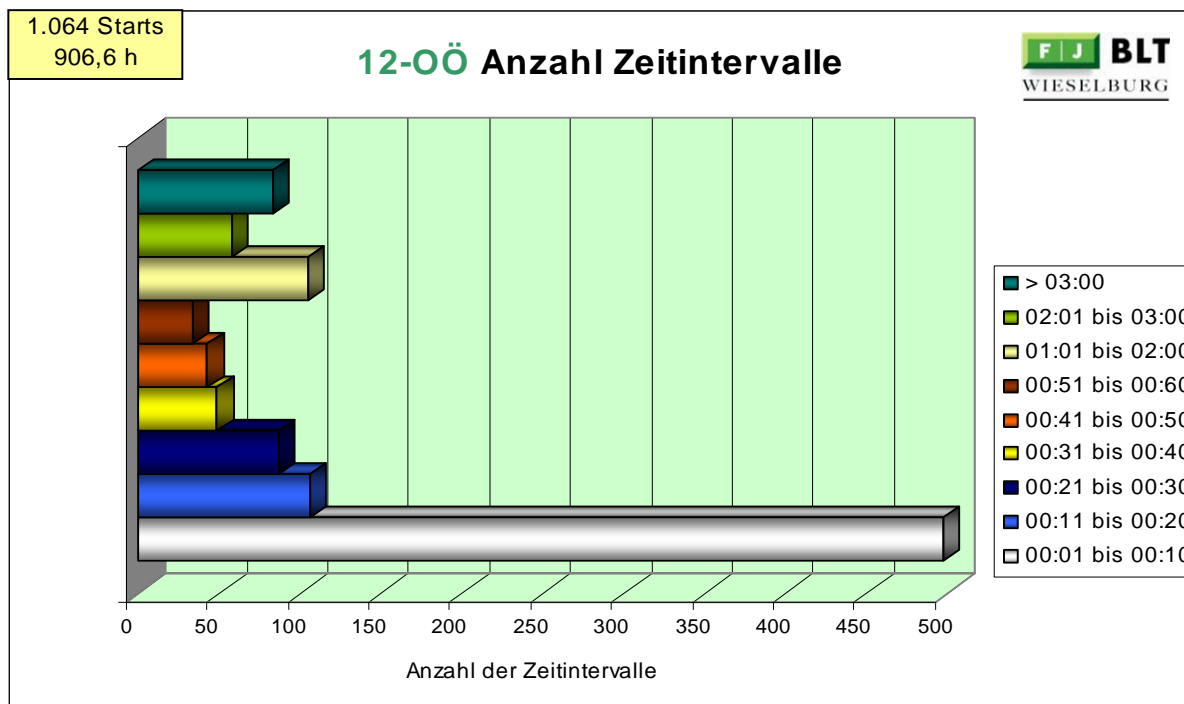


Abbildung 189: 12-OÖ Anzahl der Starts in den jeweiligen Betriebskategorien

Das Maximum der absoluten Anzahl der Starts lag erwartungsgemäß in der Kategorie von „einer bis zehn Minuten“. Rund 47 % aller Starts wurde dieser Kategorie zugeordnet.

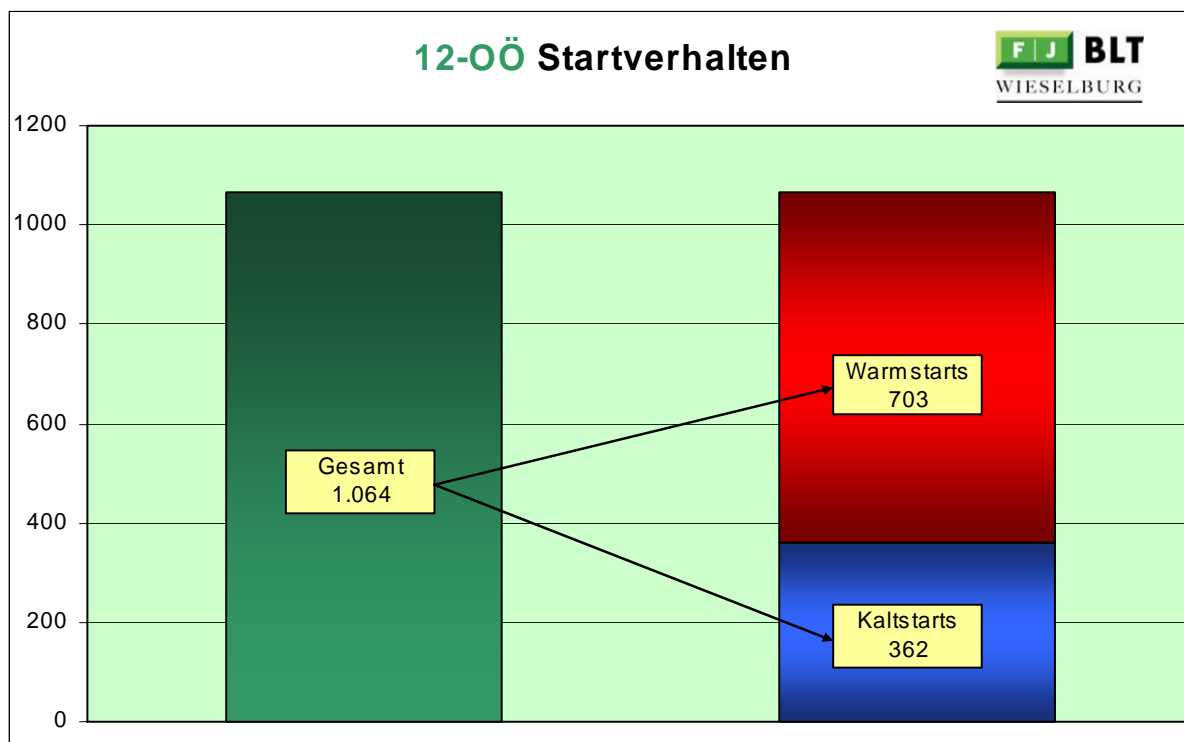
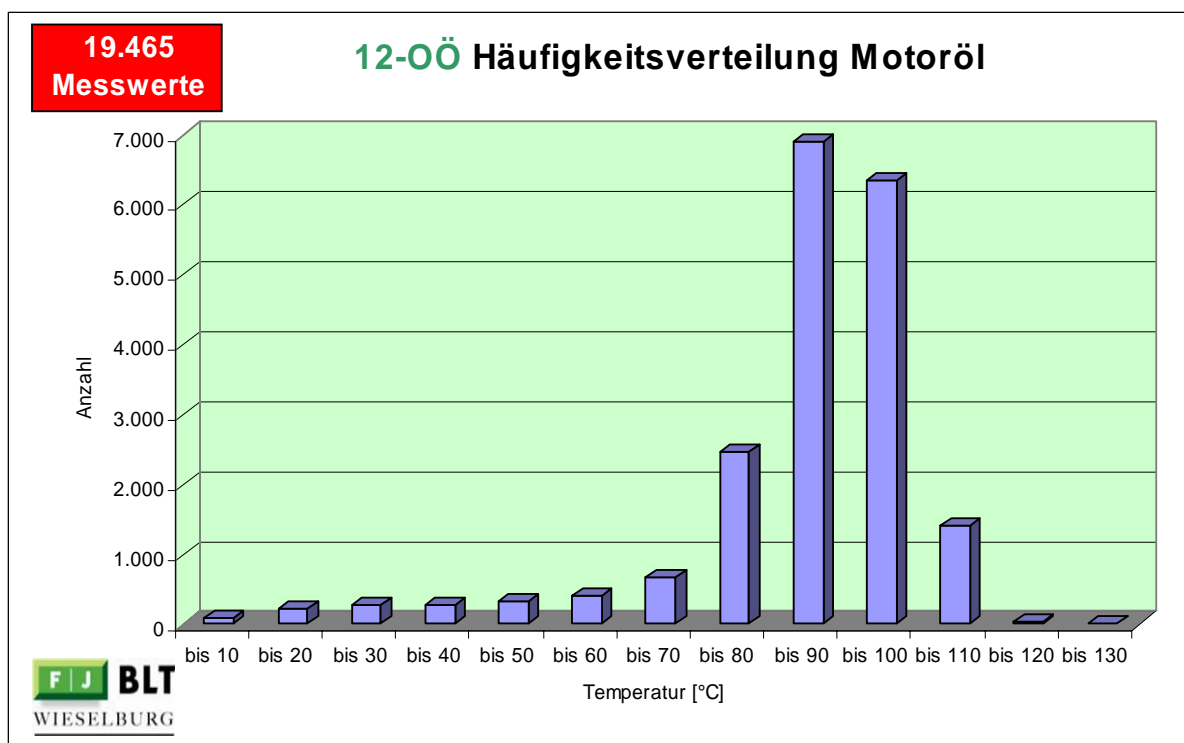


Abbildung 190: 12-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts

Um Aussagen über das Startverhalten zu erhalten, wurden jeweils Starts mit einer Temperatur der Kühlflüssigkeit bzw. des Motoröles von <math>< 50^{\circ}\text{C}</math> als Kaltstart klassifiziert. In diesem Fall sind von 1.064 aufgezeichneten Starts rund 34% Kaltstarts. Damit lag dieser Traktor im Durchschnitt aller diesbezüglichen Auswertungen.

Nachfolgend sind die Häufigkeitsverteilungen der Kanäle Motoröl-, Kühlflüssigkeit-, sowie Kraftstofftemperatur dargestellt. Die Auswertungen basieren auf jeweils einigen tausend aufgezeichneten Einzelmesswerten.

Die Maxima der Motoröltemperaturmesswerte lagen in den Temperaturklassen „80-90°C“ und „90-100°C“.



**Abbildung 191: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur**

Die Kühlflüssigkeitsmesswerte zeigten ein deutliches Maximum in der Temperaturklasse „90-100°C“. Die Charakteristik der Häufigkeitsverteilung der Temperatur der Kühlflüssigkeit ergibt sich durch das Öffnen des Thermostates bei der vorgegebenen Temperatur.

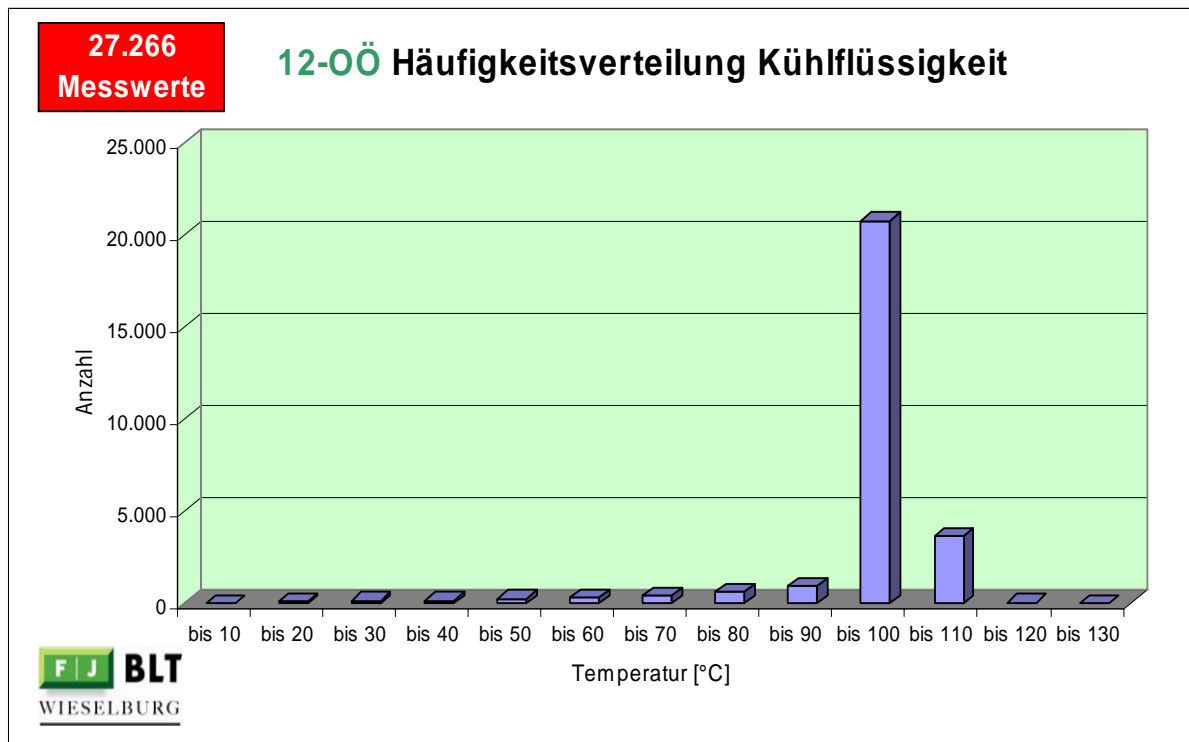


Abbildung 192: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur

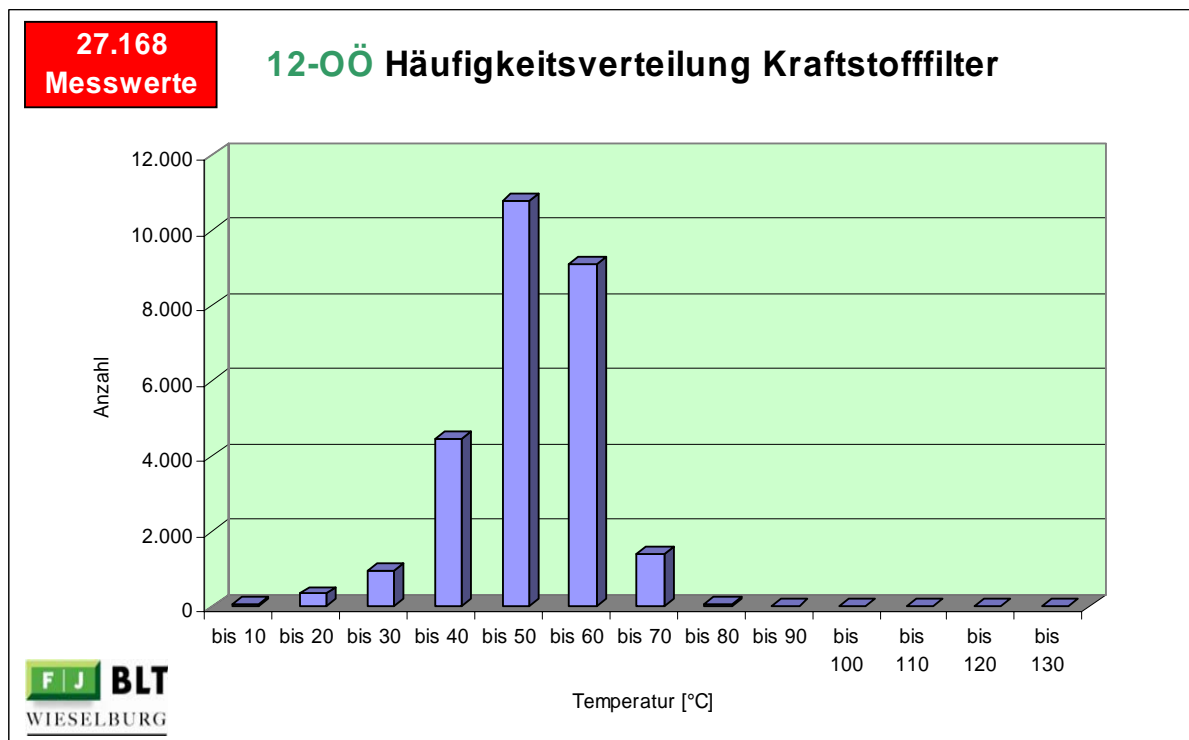


Abbildung 193: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur

Die Temperaturmesswerte der Kraftstofffiltertemperatur zeigten eine breitere Streuung. Knapp 90 % aller Messwerte lagen in den Temperaturkategorien „30-40°C“, „40-50°C“ bzw. „50-60°C“.



## 5. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Die Eintragungen im Traktortagebuch dokumentierten rund 1.100 Betriebsstunden. Im Rahmen des Projekts wurde nach den Werten des Traktormeterzählers der Traktor jedoch mehr als 1.000 Bh mehr mit Rapsöl betrieben. Die letzte übermittelte Eintragung stammte vom Mai 2007. Aufzeichnungen hinsichtlich der Tankmengen wurden nicht geführt.

Der Einsatzbereich lag zum überwiegenden Teil im normalen Lastbereich.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers. Deshalb ermöglichen diese Aufzeichnungen eine Beurteilung des Fahrbetriebes und stellen neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis dar.

Nachfolgend sind die Auswertungen der einzelnen Parameter dargestellt.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 12 Fendt 818



Allgemeine Daten:

Erster Eintrag: 18. Mär. 06 bei TMh: 2969,1  
 Letzter Eintrag 04. Mai. 07 bei TMh: 4071,0 TMh lt. Traktortagebuch **1101,9**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 123

Tankmengen:

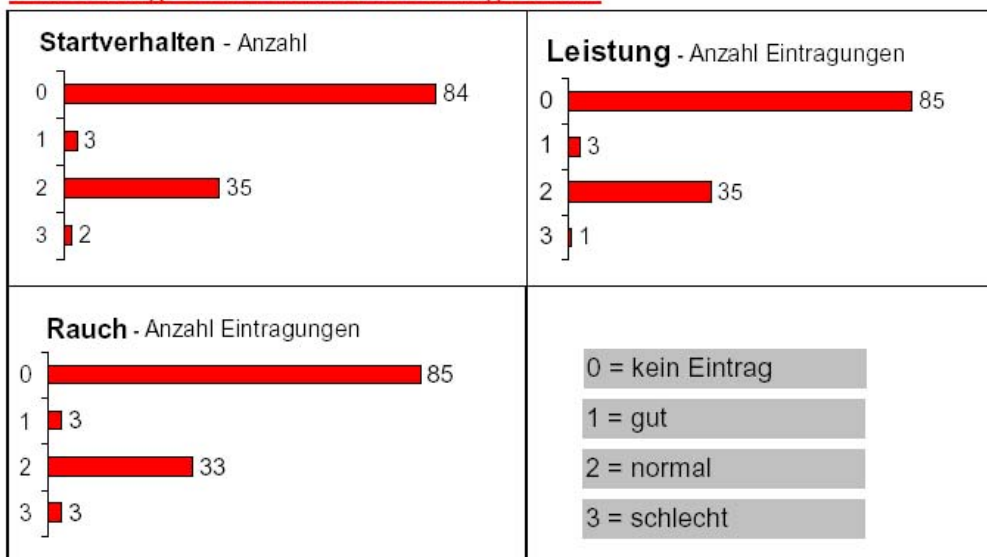
Diesel in l: 0  
 Rapsöl in l: 0

durchschnittlicher Verbrauch/h:

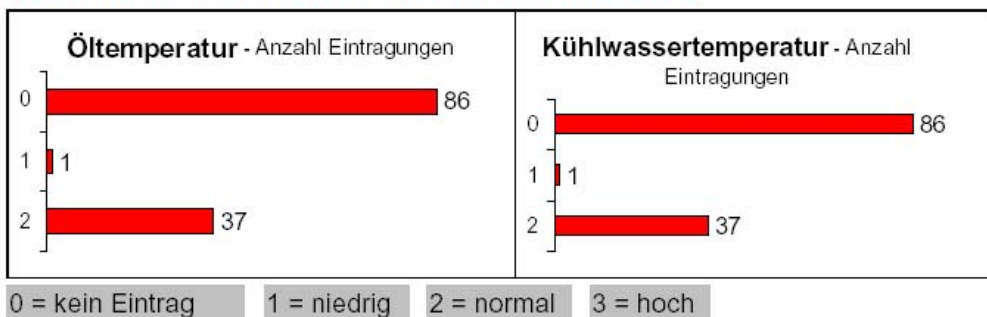
**0,00**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



## 6. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen gemessen bzw. untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurde der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Der Traktor wies bei Versuchsbeginn bereits 2962 Einsatzstunden auf. Um den Motorzustand zu dokumentieren, wurde der Zylinderkopf demontiert. Im Rahmen dieser ersten Untersuchung wurde ein Defekt der Zylinderkopfdichtung festgestellt. An der Laufbüchse von Zyl. 3 wurden geringe Reibspuren als Folge eines starken Ölkohlebelages verzeichnet. Die Kipphebel waren mit einem zähen dicken Ölbelag bedeckt. In der Folge wurde der Motor vollständig gereinigt und repariert, so dass für das Projekt von einem ordnungsgemäßen Motorzustand ausgegangen werden konnte.

**Tabelle 50: 12-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	28	30		6	295	265	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	28	30		10	295	275	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	29	31		8	295	275	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	29	30		7	295	280	i.O.	i.O.	Düse 4
Zylinder 5	30	30		8	295	265	i.O.	i.O.	Düse 5
Zylinder 6	52	30		7	295	265	i.O.	i.O.	Düse 6

i.O.....in Ordnung

Die Messung von Kompression und Druckverlust bei Versuchsende lieferten unauffällige Werte.

Der Düsenöffnungsdruck war bei Versuchsende um bis zu 30 bar geringer. Der Schaftbereich der Einspritzdüsen war mit einem schwarzen feucht glänzenden



krustenartigen Belag versehen. Die Düsen Spitzen wiesen ebenfalls eine Belagskruste auf. Die Düsenlöcher waren allesamt frei.



Abbildung 194: 12-OÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Die Zylinderkopfoberfläche war mit einem schwarzen feuchten Belag versehen, der in den Randbereichen teilweise in eine geringe Kruste überging.

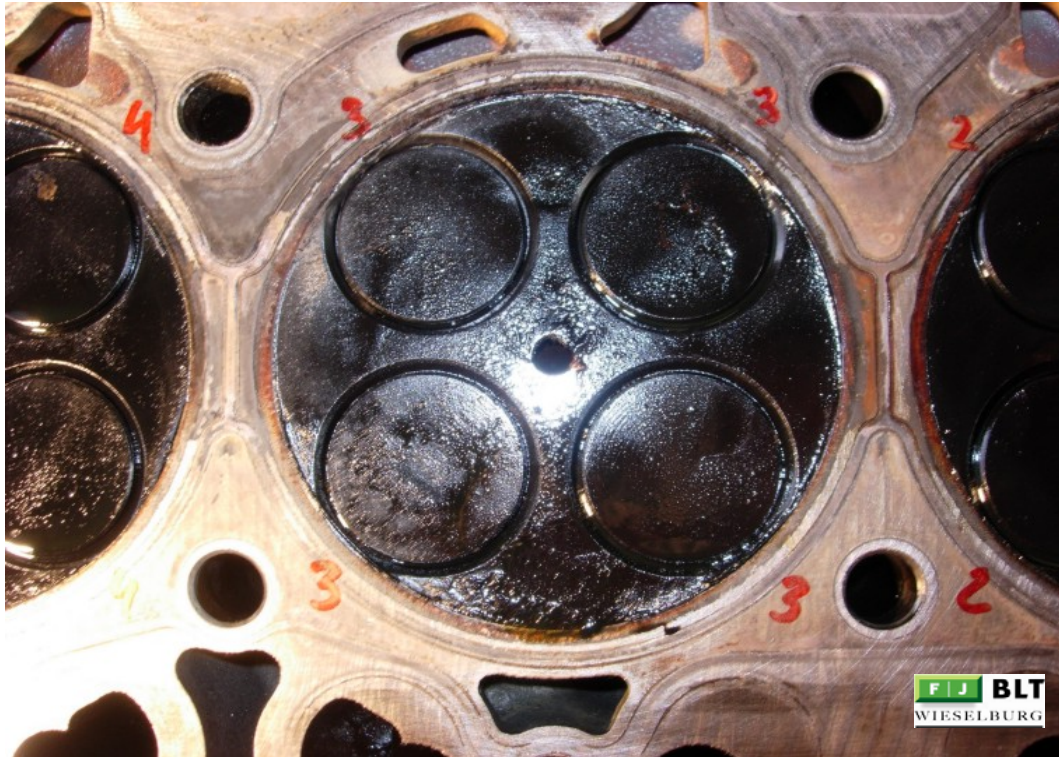


Abbildung 195: 12-OÖ Zylinderkopf



Abbildung 196: 12-OÖ Einlassventile



**Abbildung 197: 12-OÖ Zylinderlaufbüchse**

Die Einlassventile wiesen vom Übergang des Ventiltellers bis über den gesamten Schaftbereich eine massive Belagskruste auf. Im Einlasskanal wurde ebenfalls ein

massiver Belag festgestellt. Die Auslassventile sind lediglich geschwärzt und wiesen keinen Belag auf. Der Abgaskanal zeigte eine nur geringe Kokskruste.

Der Feuerstegbereich war bei allen Laufbüchsen klar abgegrenzt. Der schwarze feucht glänzende Koksbelag der Büchse zeigte Kontaktsuren mit dem Kolben. Die Honsuren waren bei allen Zylindern deutlich sichtbar. Alle Büchsen wiesen teilweise Schleifspuren von abgetragenen Koksteilchen auf.

Die Kolbenböden waren mit einem dünnen, schwarzen und feuchten Belag versehen.



Abbildung 198: 12-OÖ Kolbenboden



## 7. Schlussbetrachtung

Der Traktor Fendt Vario 818 wurde im Jänner 2006 bei einer bisherigen Einsatzdauer von 2.962 Betriebsstunden in einer Werkstätte der BayWa für den Betrieb mit Rapsöl modifiziert. Der Traktor wurde insgesamt 2.116 Traktormeterstunden mit dem Hausmann 1-Tank-Umrüstsystem betrieben.

Es wurden während des Versuchszeitraumes keine Störungen vom Betreiber gemeldet.

Die im Rahmen der Enduntersuchung gemessenen Leistungskurven ergaben eine massive Leistungsminderung sowohl bei Diesel- wie auch bei Rapsölbetrieb, welche auf eine defekte Kraftstoffförderpumpe zurückgeführt werden konnte.

Bei der Abgasmessung wurde aufgrund der defekten Förderpumpe auf eine weitere Messung mit Diesel im Rahmen der Enduntersuchung verzichtet. Die Emissionen der Anfangsuntersuchung ergaben deutlich höhere Stickoxidwerte bei Rapsölbetrieb. Die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen waren im Rapsölbetrieb geringer als bei Dieselpetrieb.

Die Partikelmessung wurde nur im Rapsölbetrieb durchgeführt. Die Ergebnisse der Partikelbeladung lagen im durchschnittlichen Bereich aller Traktoren.

Ein durchgängig homogenes Bild ohne Grenzwertüberschreitungen konnte bei den Änderungen der Viskositäten bei 40°C sowie bei 100°C festgestellt werden. Die Total Base Number wies durchgängig einen deutlichen Abwärtstrend mit zunehmender Ölalterung auf, wobei der Grenzwert in einem Intervall beinahe überschritten wurde.

Bei den Verschleißelementen wurden bei einigen Proben hohe Eisen und Bleigehalte detektiert. Der Russgehalt von maximal 3% in der Motorölwechselprobe konnte durchgängig eingehalten werden. Die Rapsölgehalte aller drei untersuchten Motorölwechselproben lagen über 12 %, einmal sogar über dem Grenzwert von 15 %.

Bei den gezogenen Stichproben aus dem Lager- und Traktortank konnte meist eine zufrieden stellende Kraftstoffqualität verzeichnet werden.



Die Auswertungen des Datenloggers ergaben einen hohen Anteil an aufsummierten Betriebszeiten der Kategorie „>3Stunden“. Rund die Hälfte aller Starts entfiel auf die Kategorie „1 bis 10 Minuten“. Rund ein Drittel aller Starts waren Kaltstarts. Die Temperaturverteilungshistogramme für Motoröl, Kühlflüssigkeit und Kraftstofffilter zeigten typische Verteilungen mit eindeutigen Temperaturmaxima.

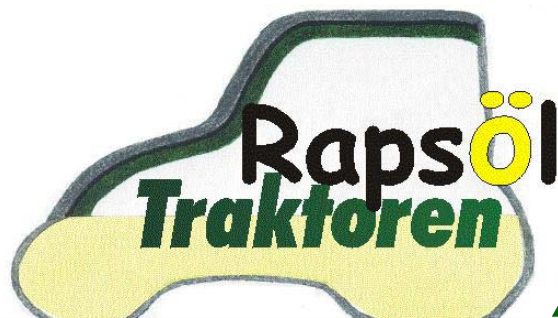
Die Messung von Kompression und Druckverlust im Rahmen der abschließenden Untersuchung bei Versuchsende lieferte unauffällige Werte. Der Düsenöffnungsdruck war bei Versuchsende um bis zu 30 bar geringer. Die Düsen wiesen Beläge auf, die Düsenlöcher waren frei. An den Einlassventilen und die Einlasskanälen waren massive Belagskrusten zu sehen, die Auslassventile und –kanäle waren lediglich geschwärzt.

Der Feuerstegbereich war bei allen Laufbüchsen klar abgegrenzt. Der schwarze feucht glänzende Koksbelag der Büchse zeigte Kontaktsuren mit dem Kolben. Die Honsuren sind bei allen Zylindern deutlich sichtbar. Alle Büchsen wiesen teilweise Schleifspuren von abgetragenen Koksteilchen auf.



13-NÖ

13-NÖ



***Abschlussbericht***

**September 2008**

<b>Fahrzeug:</b>	<b>New Holland TM 165</b>
<b>Umrüstung:</b>	<b>Juli 2004/März 2006</b>
<b>Umrüttlösung:</b>	<b>BBT / Graml 2-Tank-System</b>
<b>Rapsöleinsatz:</b>	<b>1.833 Betriebsstunden</b>



### Fahrzeugbeschreibung

<b>Fahrzeugart</b>	Traktor
<b>Fahrzeugmarke</b>	New Holland TM 165
<b>Motortype</b>	675 T-WW
<b>Erstmalige Zulassung</b>	08.08.2001
<b>Motorhersteller</b>	CNH
<b>Motor Nr.</b>	OWW962614
<b>Anzahl Zylinder</b>	6
<b>Turboaufladung</b>	ja
<b>Kühlung</b>	Wasser
<b>Ölfüllmenge</b>	19 Liter
<b>Nennleistung</b>	119 kW
<b>Nenn Drehzahl</b>	2300 min <sup>-1</sup>
<b>Hubraum</b>	7480 cm <sup>3</sup>
<b>Bohrung x Hub</b>	111,8 x 127 mm
<b>Verdichtungsverhältnis</b>	17,5 : 1
<b>Einspritzpumpe</b>	Bosch VP
<b>Einspritzdruck</b>	265 bar
<b>Kraftstofftank</b>	325 Liter
<b>Eigengewicht</b>	6.025 kg

### Untersuchungszeitraum

<b>Anfangsuntersuchung</b>	Juli 2004 / März 2006
<b>bei TMh</b>	1215 / 2001
<b>Enduntersuchung</b>	Jänner 2008
<b>bei TMh</b>	3.048

### Umrüstung

<b>Umrüstsystem</b>	Zuerst BBT dann Graml 2-Tank-System
<b>Umrüster</b>	Bergauer





Der Traktor New Holland TM 165 wurde im Juli 2004 durch die Fa. Bergauer mit dem 1- Tank System von Borbe (BBT) ausgerüstet. Bereits nach weniger als 100 Stunden im Rapsölbetrieb traten erste Probleme hinsichtlich Leistungsverlust auf. In der Folge wurden 25 % Dieselanteil beigemischt um den Traktor betreiben zu können. Im Zuge eines Ölwechsels bei ca. 330 Betriebsstunden wurde eine Eindickung des Motoröles festgestellt. Der Motor wurde geöffnet und gereinigt und bis zur Klärung der weiteren Vorgangsweise ausschließlich mit Dieselmotorkraftstoff betrieben.

Die Untersuchungen des Motoröles Plantomot der Firma Fuchs ergaben erhöhte Anteile an Blei, Eisen, Silizium und Aluminium. Laut Auskunft der Firma Fuchs hatte dieser Traktor nach der Analyse des Ablauföles schon eine Vorschädigung. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass es vermutlich durch eine für diesen Traktor ungeeignete Umrüstvariante sowie weiteren, im Nachhinein nicht mehr zu klärenden, Einflüssen zu einer Motoröleindickung kam.

Für den weiteren Betrieb mit Rapsöl wurde der Traktor von der Firma Bergauer im Jänner 2006 auf ein 2-Tank-System der Firma Graml umgerüstet. Nachfolgend werden die Untersuchungen und Leistungsmessungen auf die Anfangsdaten des Graml Systems bezogen dargestellt.

# 1. Leistungs- und Emissionsmessung

## Leistungsmessung

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung wurde der Traktor am Motorenprüfstand des FJ-BLT Wieselburg einer Leistungs- und Emissionsmessung unterzogen. Es wurde jeweils eine Volllastkurve mit Diesel und mit Rapsöl gemessen und daraus der Verlauf von Drehmoment und Leistung an der Zapfwelle samt Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Die Leistungsmessung zu Beginn ergab eine annähernd identische Kurve der beiden Kraftstoffe. Der Verbrauch war mit Rapsöl etwas höher. Über die Laufzeit änderte sich der Leistungsverlauf bei beiden Kraftstoffen kaum und auch die Verbrauchskurve verlief nahezu identisch. Nachfolgend sind die entsprechenden Diagramme dargestellt.

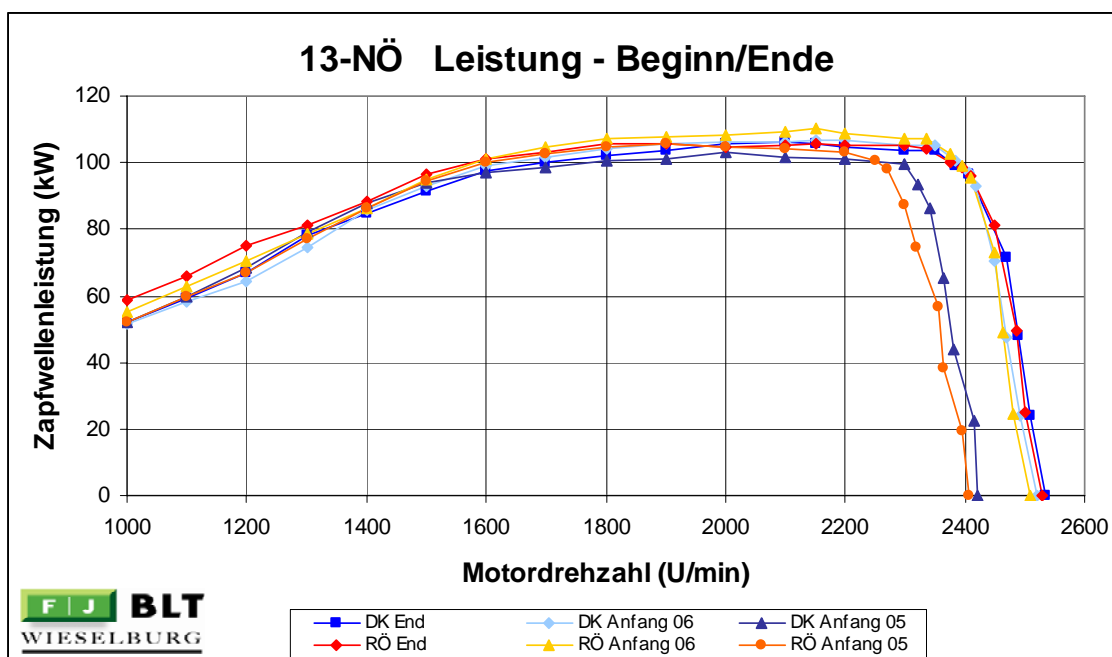


Abbildung 199: 13-NÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

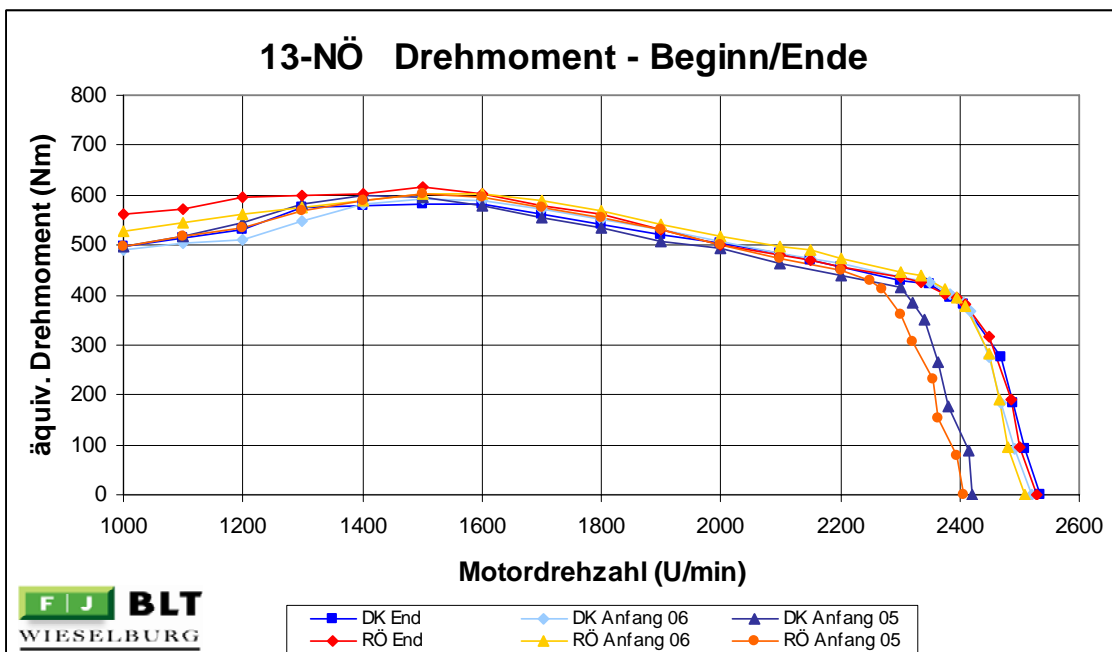


Abbildung 200: 13-NÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

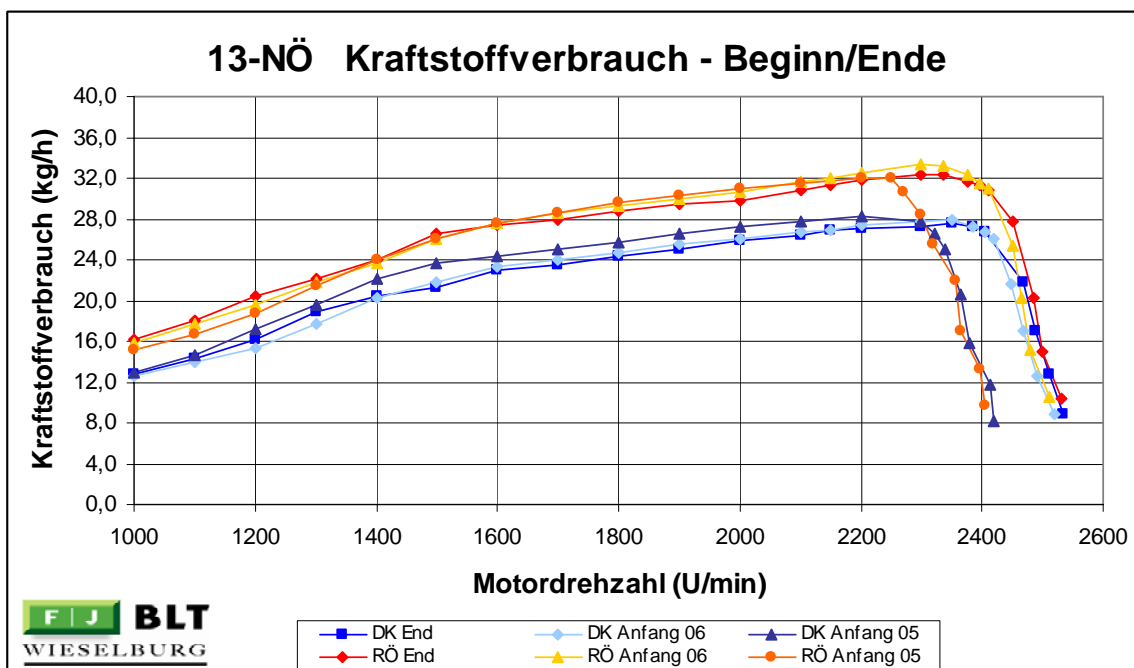


Abbildung 201: 13-NÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

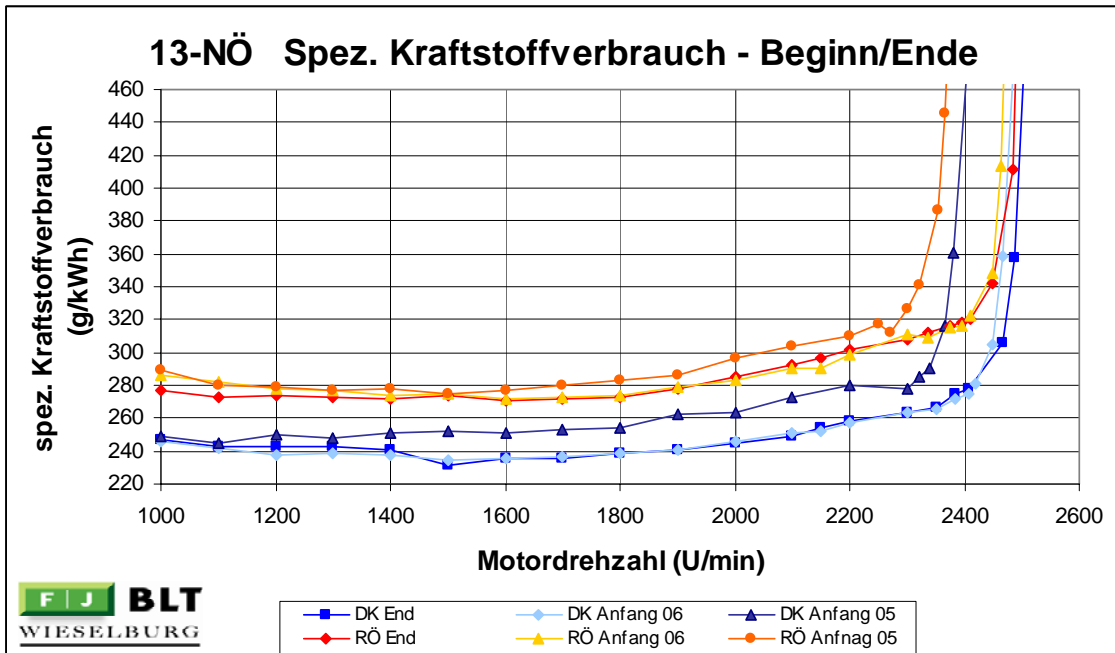


Abbildung 202: 13-NÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende

Die Blow-by Werte des Motors wurden im Rahmen der Leistungsmessung bei Versuchsbeginn und –ende ebenfalls gemessen. Nachfolgende Abbildung zeigt die Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment. Über die Laufzeit wurde ein geringfügiger Anstieg beobachtet.

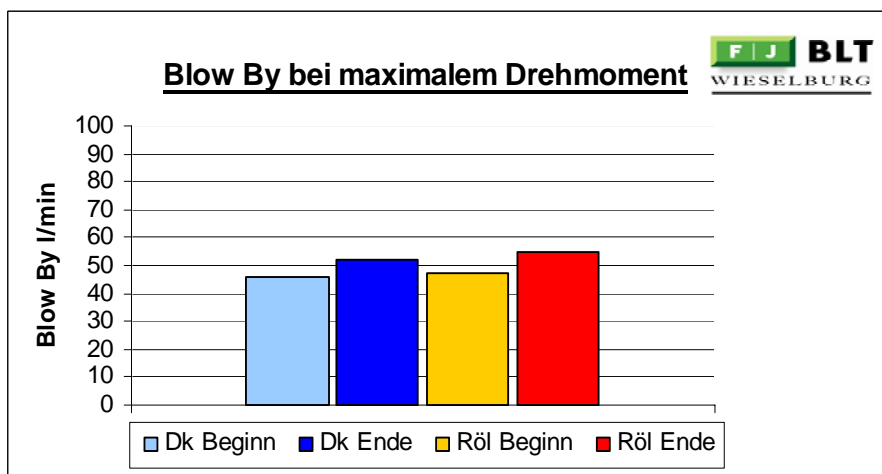


Abbildung 203: 13-NÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment



## Emissionsmessung

Aufgrund eines mangelnden Wartungszustandes des Traktors wurde im Rahmen der Abschlussuntersuchung keine Emissionsmessung durchgeführt. Die dargestellten Werte der gasförmigen Emissionen beziehen sich auf die Anfangsmessung.

**Tabelle 51: 13-NÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende**

	Beginn RÖ	Beginn DK
[g/kWh]	22.06.2006	21.06.2006
CO	1,82	2,03
HC	0,23	0,37
NOx	14,86	13,52

Die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen lagen bei Rapsölbetrieb unter denen des Dieselbetriebs. Bei den Stickoxiden waren die Emissionen bei Rapsölbetrieb höher als bei Dieselbetrieb.



## 2. Motorölanalysen

Zur Motorschmierung wurde ab dem 2. Wechselintervall das Motoröl Titan Unic Plus MC SAE 10W-40 von der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH verwendet. Die Wechselintervalle für das Motoröl betragen laut Bedienungsanleitung 300 Betriebsstunden, diese Werte konnten laut Empfehlung des Umrüsters beibehalten werden. Während der Projektlaufzeit wurden insgesamt vier Ölwechselintervalle untersucht. Für das erste Intervall wurde das Motoröl Plantomot der Fa. Fuchs verwendet, wobei der Betrieb noch mit dem System BBT erfolgte. Im Intervall 2 gelangte infolge eines defekten Wellendichtringes der Einspritzpumpe eine größere Menge Kraftstoff in das Motoröl. Von 23 Motorölproben wurden im Labor des FJ-BLT Wieselburg die Viskosität bei 40°C und bei 100°C gemessen und daraus der Viskositätsindex berechnet. Weiters wurde bei jeder Probe die Total Base Number (TBN) bestimmt und ein Blotter Spot Test durchgeführt. Insgesamt 21% der vorgesehenen alle 50 Betriebsstunden zu ziehenden Proben wurden vom Betreiber nicht entnommen.

In den nachfolgenden Diagrammen sind jeweils die prozentualen Änderungen der Viskositäten bei 40°C und bei 100°C sowie die Änderung der TBN über die Ölwechselintervalle dargestellt. Die Änderungen beziehen sich jeweils auf die 5-min-Probe als Ausgangsbasis. Als Grenzwert wurde bei den Viskositäten eine Abweichung von +/- 25% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgelegt, bei der TBN eine maximale Abweichung von -50%.

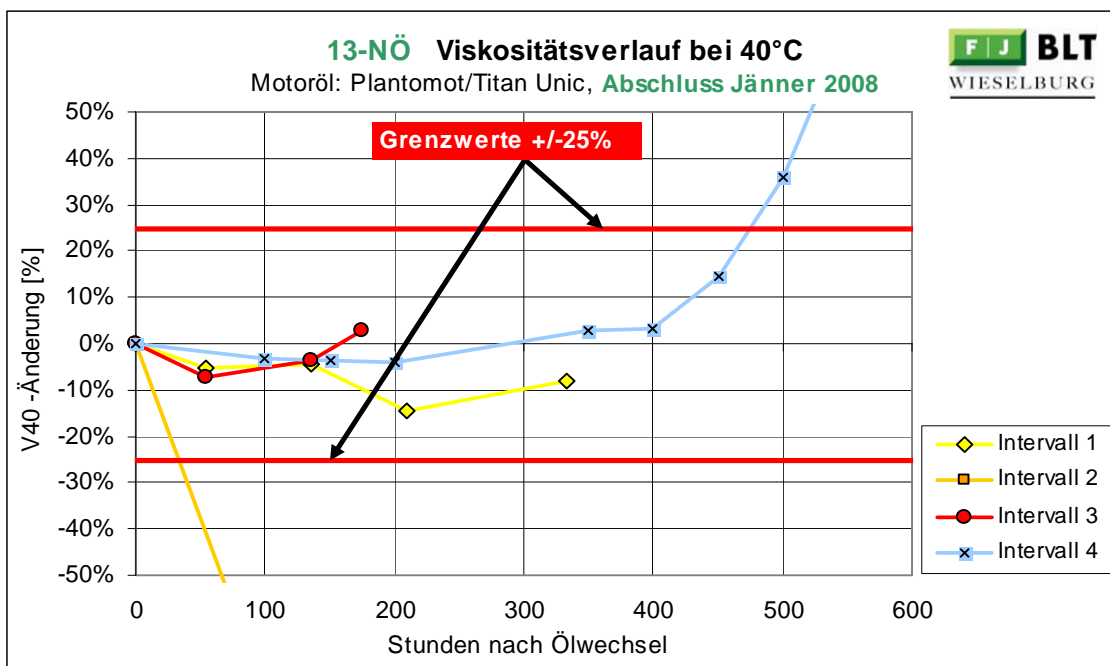


Abbildung 204: 13-NÖ Änderung der Viskosität bei 40°C

Lediglich das Intervall 1 verlief bei der Viskosität bei 40°C einigermaßen gleichmäßig mit einem maximalen Abfall von 15% bei der 200 Stunden Probe. Bis zur Altölprobe ließ sich wieder eine steigende Tendenz feststellen, so dass am Ende ein Abfall von 5% der Altölprobe im Vergleich zur Ausgangsprobe festgestellt wurde. Das Intervall 3 konnte nicht vollständig dokumentiert werden, da keine Ölwechselprobe gezogen wurde. Folglich konnte auch der Rapsöl- und Russgehalt für diese Wechselprobe nicht bestimmt werden (Abbildung 208). Bei den Intervallen 2 und 4 wurde jeweils eine Grenzwertüberschreitung bzw. -unterschreitung festgestellt, wobei die Viskosität der Altölprobe das eine Mal doppelt so hoch und das andere mal nur halb so niedrig als der vorgegebene Limitwert war. Die Verläufe der Viskosität bei 100°C zeigten ein ähnliches Bild.

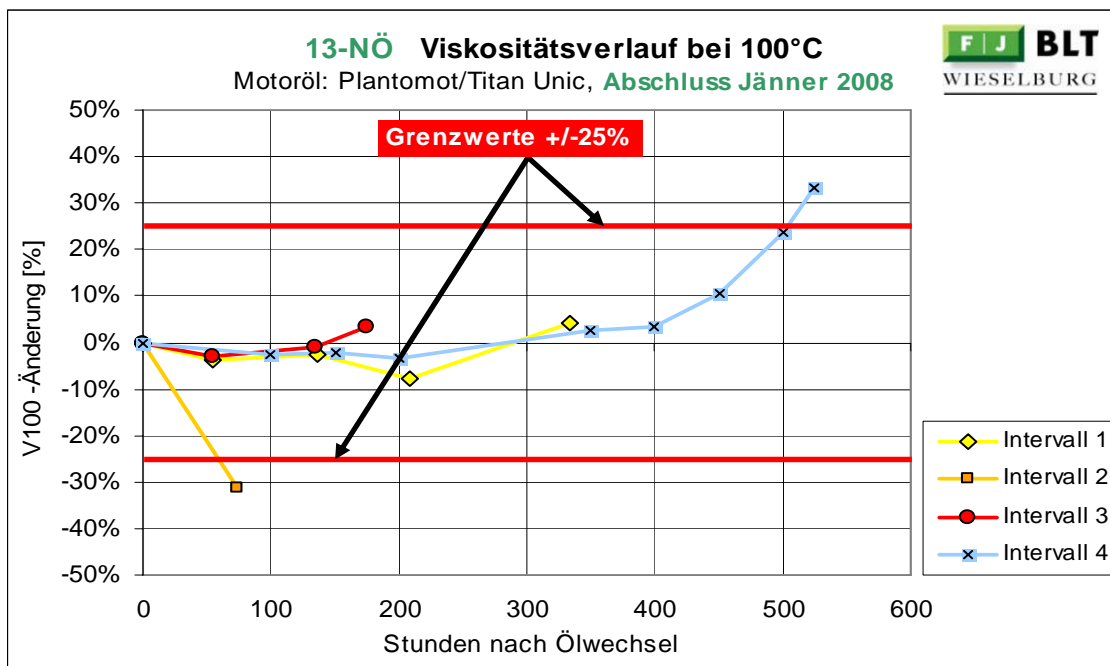


Abbildung 205: 13-NÖ Änderung der Viskosität bei 100°C

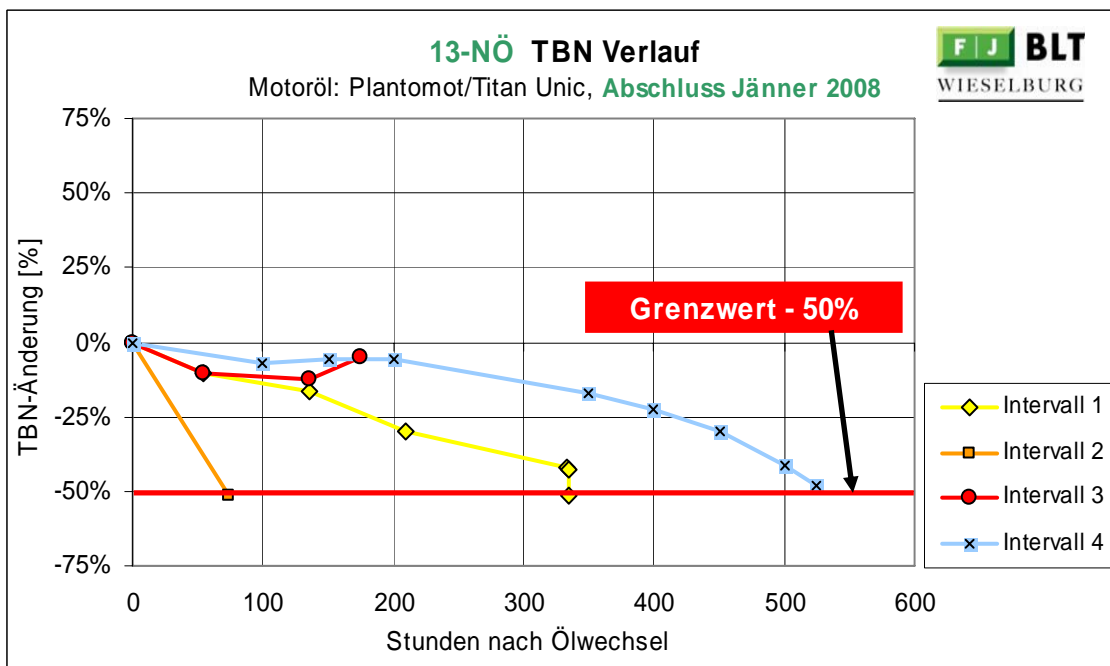


Abbildung 206: 13-NÖ Änderung der Total Base Number

Hinsichtlich der Total Base Number wurde bei den Intervalle 1 und 2 der festgelegte Grenzwert unterschritten bzw. im Intervall 4 beinahe unterschritten.



Neben den Qualitätsüberprüfungen des Motoröles seitens des FJ-BLT Labors, wurden 12 Proben zu Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH nach Mannheim gesandt, wo diese hinsichtlich Russ- und Rapsölgehalt und den Gehalt an Verschleißelementen überprüft wurden.

Bei den Verschleißelementen gab es bei Blei eine Überschreitung der Verschleißgeschwindigkeit, bei den anderen Elementen konnte der Limitwert von 0,5 Milligramm je Betriebsstunde eingehalten werden.

Die Analysenergebnisse der Russ- und der Rapsölgehalte der Motorölproben lagen durchgehend innerhalb der vorgesehenen Grenzwerte.

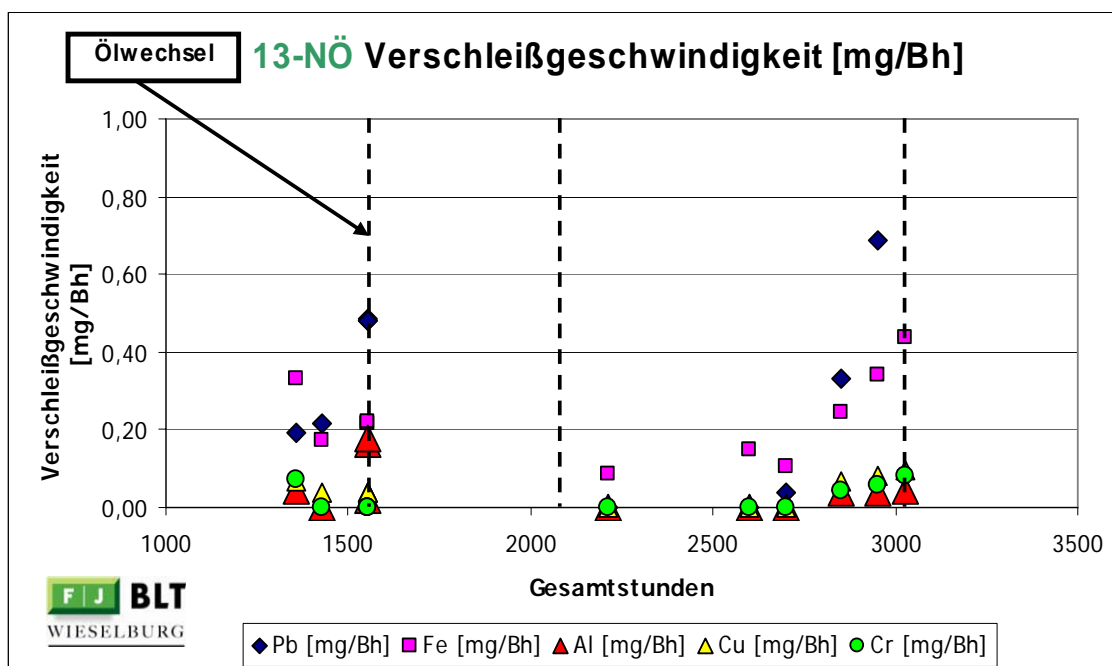


Abbildung 207: 13-NÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]

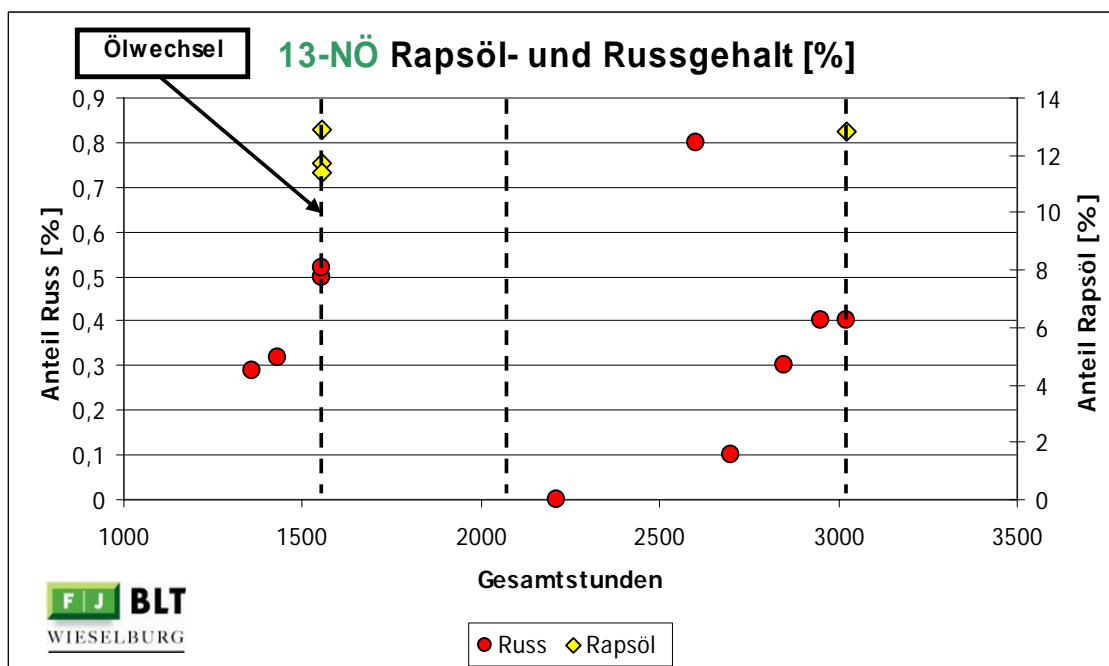


Abbildung 208: 13-NÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben

### Kommentar Fa. Fuchs

Der Kraftstoffeintrag in das Öl liegt bei den untersuchten Proben zwar unterhalb der festgelegten Grenze, allerdings auf einem recht hohen Niveau. Die Viskosität bleibt in der Regel fast über alle Intervalle hinweg bis zu einer Betriebsstundenzahl von 400 Bh mehr oder weniger konstant. Oberhalb der 400 Betriebsstunden drifft die Viskosität aufgrund von Alterung nach oben ab; damit einhergehend fällt im gleichen Maße die TBN ab. Innerhalb eines Intervalls ist ein starker Abfall der Viskosität festzustellen, was möglicherweise auf einen massiven Kraftstoffeintrag zurückzuführen ist. Leider wurde an dieser Probe keine Bestimmung des Kraftstoffgehaltes durchgeführt. Das Verschleißelement Eisen zeigt einen üblichen Verlauf, mit steigender Betriebsstundenzahl nimmt der Gehalt zu. Kritischer ist hier das Verschleißelement Blei, das bei einigen Proben den festgelegten Grenzwert von 10 Milligramm je Kilogramm übersteigt, im extremsten Fall um das 14-fache. Anzumerken ist, dass dieses Problem schon bei der Vorbefüllung bestand; hier wurde der Grenzwert sogar um das 16-fache überschritten. Es ist daher kein Trendverlauf festzustellen, die Höhe des Bleigehaltes variiert zwischen den Intervallen erheblich, in einigen Intervallen ist der Bleigehalt völlig unauffällig. Der Russeintrag bewegt sich auf einem sehr niedrigen Niveau und ist als unkritisch anzusehen.

### 3. Kraftstoffanalysen

Das als Kraftstoff verwendete Rapsöl wurde von mehreren Ölmühlen bezogen. Insgesamt wurden jedoch diverse Proben aus Ölmühlen welche in Kapitel Rapsölqualität der Ölmühlen dargestellt sind, sowie sechs Proben aus dem Lagertank und acht Proben aus dem Traktortank gezogen. Diese wurden anschließend im Labor des FJ-BLT untersucht und die Ergebnisse mit den in der österreichischen Kraftstoffverordnung (BGBl II 417/2004) festgelegten Grenzwerten verglichen. Anbei sind die einzelnen Analyseergebnisse dargestellt – rot gefärbte Ergebnisse entsprechen nicht den Qualitätsanforderungen gemäß österreichischer Kraftstoffverordnung.

#### Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Die häufigsten Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich der Lagertankproben gab es bei der Gesamtverschmutzung (GV). Hier wurde der vorgegebene Grenzwert von 25 mg/kg dreimal beträchtlich überschritten. Bei zwei Rapsölproben wurden korrespondierend die Grenzwerte bei den Parametern Gesamtverschmutzung und Wassergehalt über- und bei der Oxidationsstabilität unterschritten.

Tabelle 52: 13-NÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Oxidationsstabilität [h]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]
01.09.2004	916	34,90	72,23	1,71	0,35	10,93	0,148
22.10.2004		34,79	23,95	0,54		3,42	0,069
12.05.2006	912	30,22		1,46	5,62	9,52	0,052
30.08.2006	919	34,79	40,50	1,57	0,63	11,01	0,103
12.04.2007	919		n.f.	0,62	6,40	4,46	0,063
12.07.2007	919	35,17	11,24	2,52	0,53	4,57	0,067

#### Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Bei den Traktortankproben gab es parallel zu den Lagertankproben Überschreitungen des Grenzwertes der Gesamtverschmutzung. Durch einen höheren Dieselanteil wurde die Qualität „verbessert“.

Tabelle 53: 13-NÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank

Datum Probenahme	Dichte bei 15°C [kg/m³]	V40 [mm²/s]	GV [mg/kg]	NZ [mg KOH/g]	Phosphorgehalt [mg/kg]	Wassergehalt [Masse-%]	Dieselanteil [%]
01.09.2004	896	19,68	39,75	1,39	8,50	0,079	22
22.10.2004		14,09	18,20	0,39	4,31	0,045	35
03.03.2005		7,21		0,08	0,60		61
12.05.2006	890	15,07	7,95	0,93	6,58	0,042	32
20.06.2006	895	14,47	8,50	1,22		0,041	34
30.08.2006	889	12,82	4,80	1,05	6,43	0,037	39
12.04.2007	913	28,54	n.f.	0,65	6,14	0,056	8
12.07.2007	904	21,46	2,50	1,87	3,97	0,054	19

Die Unterschreitungen des Toleranzbereiches der Dichte waren auf einen höheren Dieselanteil zurückzuführen, welcher bei 2-Tank-Umrüstungen durch Spülvorgänge und als Lecköl bei Dieselbetrieb systembedingt in den Rapsöltank gelangt. Der Dieselanteil betrug bei den gemessenen Proben bis zu 61%.



## 4. Auswertungen aus dem Traktortagebuch

Über die gesamte Projektlaufzeit wurde vom Betreiber begleitend ein Traktortagebuch geführt. Hierzu wurden traktorspezifische (Öltemperatur, Startverhalten, Leistung, etc) sowie individuell bestimmbare arbeitsspezifische Parameter (Art der Arbeit, Tankmenge, etc.) angegeben. Den Auswertungen lagen ab der 2. Umrüstung 919 Betriebsstunden mit Rapsöl zugrunde.

Insgesamt wurden laut den Eintragungen 10.030 Liter Rapsöl sowie 3.584 Liter Diesel getankt, was einem durchschnittlichen Verbrauch von 14,81 Litern/TMh entspricht. Der Dieselanteil liegt bei diesem Traktor mit einer 2-Tank-System Umrüstung bei 26% über die Projektlaufzeit. Der Einsatzbereich liegt zum überwiegenden Teil im schweren, sowie im Straßen- bzw. Transportbereich. Das Traktortagebuch wurde nicht vollständig geführt die Auswertungen dieses Traktortagebuchs beruhen auf Eintragungen von 143 Tagen.

Die Traktortagebucheintragungen erfolgten aus subjektiver Sicht des Betreibers, welcher seinen Traktor kennt. Deshalb ermöglichen diese Aufzeichnungen eine Beurteilung des Fahrbetriebes und stellen neben den technischen Untersuchungen eine wichtige Datenbasis dar.



**Traktortagebuch**

Fahrzeug: 13 New Holland TM 165



Allgemeine Daten:

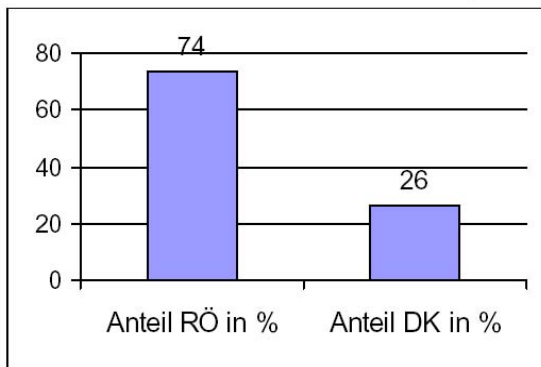
Erster Eintrag: 11. Mai. 06 bei TMh: 2106  
 Letzter Eintrag 27. Nov. 07 bei TMh: 3025,0 TMh lt. Traktortagebuch **919,0**

Anzahl der Eintragungen gesamt:  
 143

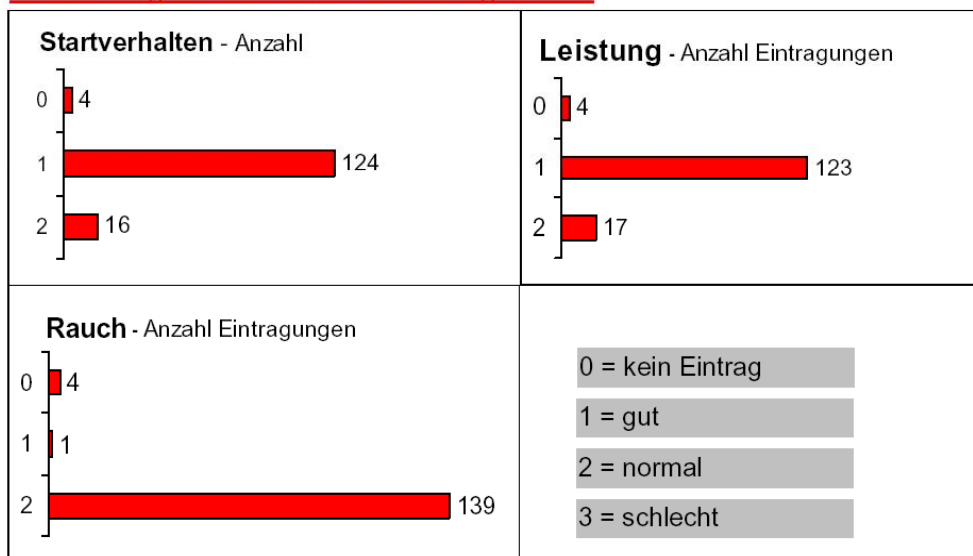
Tankmengen:

Diesel in l: 3584  
 Rapsöl in l: 10030

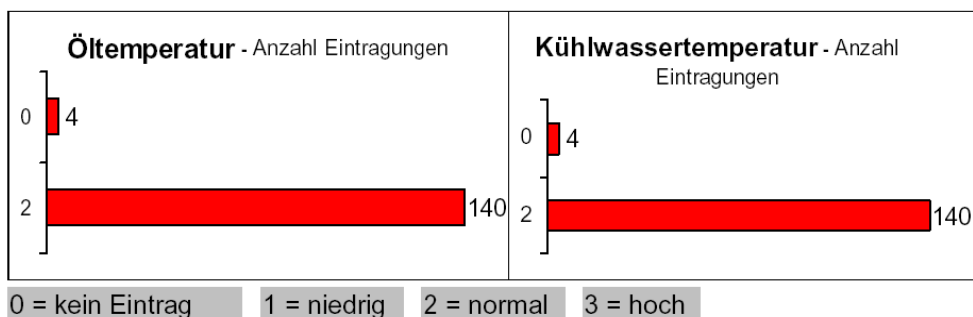
durchschnittlicher Verbrauch/h:  
**14,81**



Beurteilung: Startverhalten/Leistung/Rauch



Beurteilung: Öltemperatur / Kühlwassertemperatur



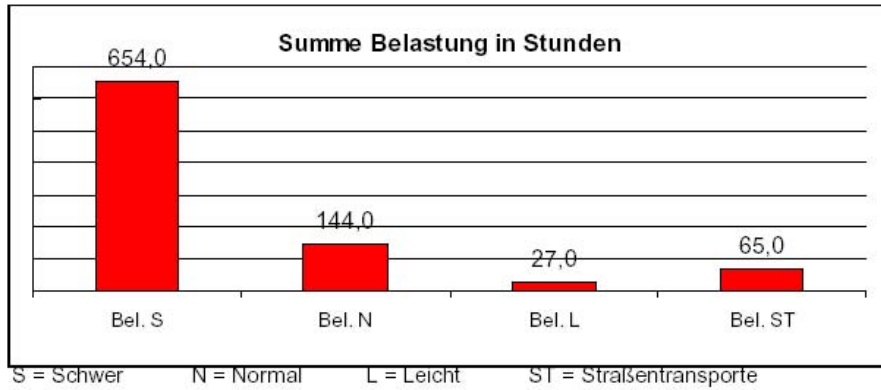


Traktortagebuch

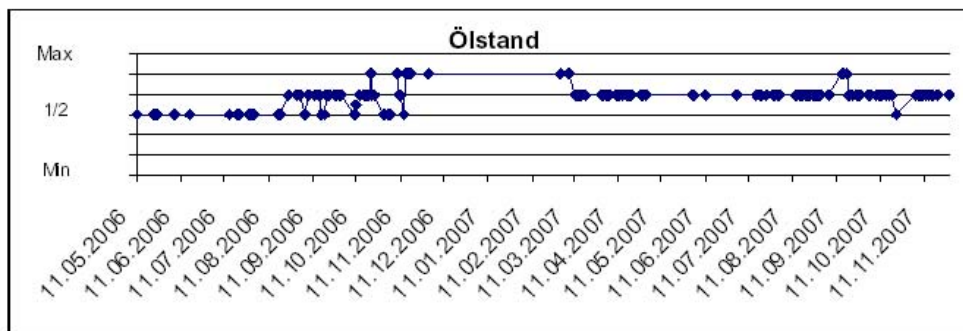
Fahrzeug: 13 New Holland TM 165



Auslastungsprofil



Ölstandsverlauf



## 5. Dokumentation des Motorzustandes

Im Rahmen der Anfangs- und Enduntersuchung des Traktors wurden, soweit als möglich, die Kompression und der Druckverlust der Zylinder, sowie der Öffnungsdruck und ein Spritzbild der Düsen gemessen bzw. untersucht. Die Zylinderkopfdemontage anlässlich der Enduntersuchung ermöglichte zusätzlich eine Inspektion des Brennraumes. Untersucht wurde der Zustand von Zylinderkopf, Ein- und Auslassventilen, Einspritzdüsen und Brennraum (Feuersteg, Laufbüchse und Kolbenboden).

### Einspritzdüsen, Kompression und Druckverlust

Die Messung der Kompression bei Versuchsende zeigte bei Zylinder 4 und Zylinder 6 jeweils einen starken Druckabfall. Die Druckverlustmessung im Brennraum zeigte ebenfalls keine zufrieden stellenden Werte.

**Tabelle 54: 13-NÖ Zylinder- und Düsendokumentation**

	Kompression [bar]		Druckverlust [%]		Düsenöffnungsdruck [bar]		Spritzbild		
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	
Zylinder 1	31	25	23	13	255	230	i.O.	i.O.	Düse 1
Zylinder 2	32	26	24	10	250	230	i.O.	i.O.	Düse 2
Zylinder 3	32	22	22	26	250	240	i.O.	i.O.	Düse 3
Zylinder 4	32	16	22	90	245	235	i.O.	i.O.	Düse 4
Zylinder 5	28	28	42	9	250	235	i.O.	i.O.	Düse 5
Zylinder 6	32	16	21	84	250	245	i.O.	i.O.	Düse 6

i.O.....in Ordnung

Der Öffnungsdruck der Einspritzdüsen ist um bis zu 25 bar gesunken. Die Düsen spitzen waren mit einem geringen Belag versehen, die Düsenlöcher waren jedoch allesamt frei. Der Schaftbereich der Düsen war verkrustet, der Belag teilweise abgeblättert.





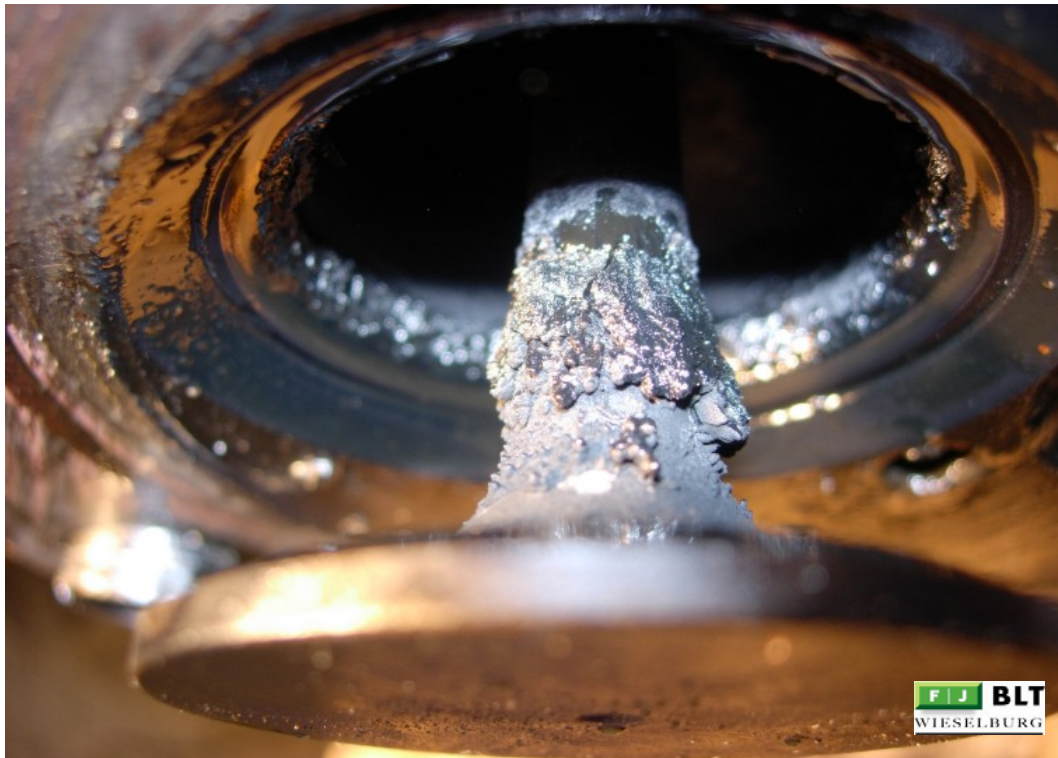
Abbildung 209: 13-NÖ Einspritzdüse

## Brennraumuntersuchung

Der Zylinderkopf wies bei allen Zylindern einen relativ geringen schwarzen Belag auf, der im Randbereich in eine leichte Verkrustung überging.



Abbildung 210: 13-NÖ Zylinderkopf



**Abbildung 211: 13-NÖ Einlassventil**

Die Einlassventile hatten am Übergang des Ventiltellers eine relativ dicke schwarze Kruste. Das Einlassventil von Zylinder 4 und Zylinder 6 wies einen etwas stärkeren Belag als die übrigen Ventile auf. Die Einlasskanäle besaßen ebenfalls eine stellenweise relativ dicke schwarze Verkrustung.

Die Auslassventile waren allesamt mit einem dünnen grauen Belag versehen. Bei den Zylindern 4 und 6 wies die Ventilfehrung ein erhöhtes Spiel auf. Die Ventilsitze aller Ventile zeigten Spuren von Kokseinschlag.



Abbildung 212: 13-NÖ Auslassventil



Abbildung 213: 13-NÖ Zylinderlaufbüchse

Der Feuersteg war bei allen Zylindern klar abgegrenzt. Der Feuerstegbereich war mit einer dicken schwarzen Belegkruste versehen, die teilweise abgelöst war.

Die Honspuren waren bei allen Laufbüchsen deutlich sichtbar. Die Zylinder 4 und 6 wiesen eine geringe Spiegelbildung auf.



**Abbildung 214: 13-NÖ Kolbenboden**

Die Kolbenböden waren bei allen Kolben schwarz belegt und wiesen teilweise eine leichte Kruste auf. Das Spritzbild der Düsen war in der Kolbenmulde teilweise sichtbar. Der Belag auf dem Kolbenboden von Zylinder 4 war stärker ausgeprägt. Die Kolben waren in der Stellung oberer Totpunkt kaum mehr beweglich.

Aufgrund der schlechten Kompressionswerte und der vergleichsweise starken Beläge im Brennraum wurde der Motor weiter demontiert und die Kolben gezogen.

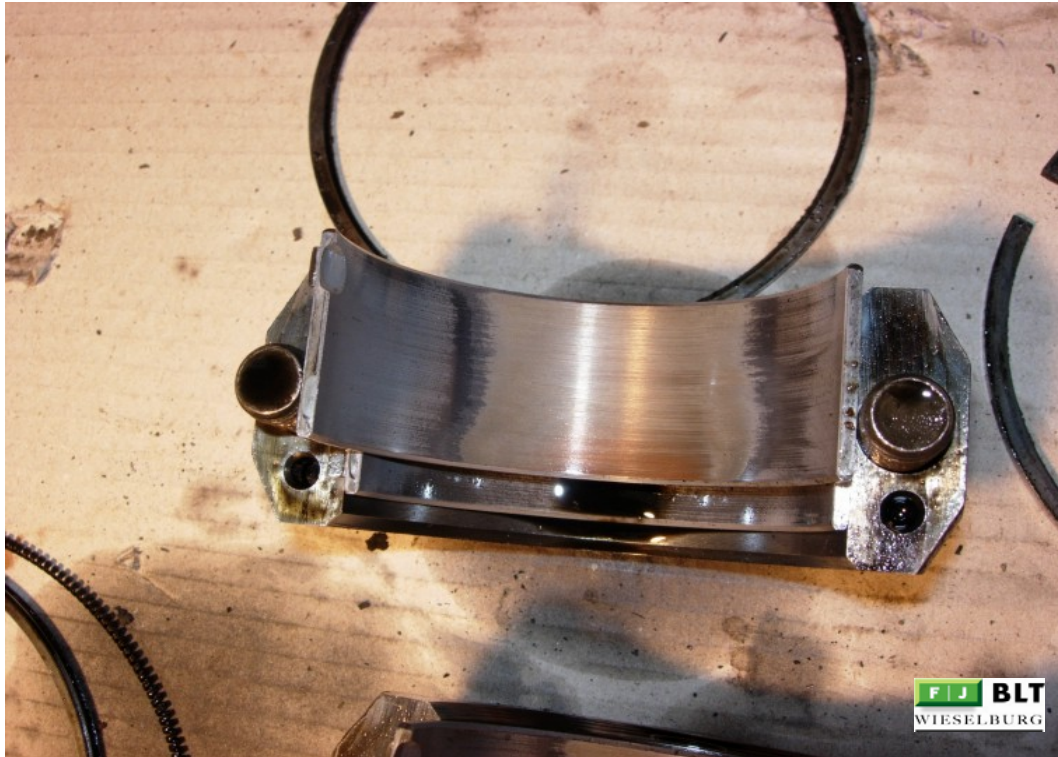
Der Feuerstegbereich der Kolben war mit einer dicken Kruste versehen. Der Bereich zwischen erstem und zweitem Kolbenring war überwiegend schwarz belegt. Jener zwischen zweitem und drittem Ring orange bis ockerfarben eingefärbt. Die Kolbenringe waren mit Ausnahme von Ring 2 an Kolben 4 alle noch beweglich. Der Kolbenschaft wies bei allen Kolben im Bereich rund um die Kolbenbolzen eine schwarze Färbung auf. Der Schaftbereich der an- und ablaufenden Seiten, sowie die Kolbeninnenseite waren blank.



Abbildung 215: 13-NÖ Kolben mit Kolbenringen



Abbildung 216: 13-NÖ Kolben ohne Kolbenringe



**Abbildung 217: 13-NÖ Lagerschale**

Die Pleuellager wiesen deutliche Verschleißspuren auf.

Der schlechte Motorzustand kann vermutlich auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass das Umrüstsystem laut Angaben der Firma Bergauer auf Verlangen des Traktorbesitzers teilweise außer Funktion gesetzt wurde. Seit April 2007 erfolgte die Schaltung des Systems ausschließlich durch die Motoröltemperatur.



## 6. Schlussbetrachtung

Der Traktor New Holland TM 165 wurde im Juli 2004 durch die Fa. Bergauer mit dem 1- Tank System von Borbe (BBT) ausgerüstet. Bereits nach weniger als 100 Stunden im Rapsölbetrieb traten erste Probleme hinsichtlich Leistungsverlust auf. In der Folge wurden 25 % Dieselanteil beigemischt um den Traktor betreiben zu können. Im Zuge eines Ölwechsels bei ca. 330 Betriebsstunden wurde eine Eindickung des Motoröles festgestellt. Der Motor wurde geöffnet und gereinigt und bis zu Klärung der weiteren Vorgangsweise ausschließlich mit Dieselmotorkraftstoff betrieben.

Die Untersuchungen des Motoröles Plantomot der Firma Fuchs ergaben erhöhte Anteile an Blei, Eisen, Silizium und Aluminium. Laut Auskunft der Firma Fuchs hatte dieser Traktor nach der Analyse des Ablauföles schon eine Vorschädigung. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass es vermutlich durch eine für diesen Traktor ungeeignete Umrüstvariante sowie weiteren, im Nachhinein nicht mehr zu klärenden, Einflüssen zu einer Motoröleindickung kam.

Für den weiteren Betrieb mit Rapsöl wurde der Traktor von der Firma Bergauer im Jänner 2006 bei 2.001 Traktormeterstunden auf ein 2-Tank-System der Firma Graml umgerüstet.

Während der Versuchsdauer wurde eine Reparatur der Einspritzpumpe infolge eines defekten Wellendichtringes durchgeführt. Der Öldruckschalter wurde bei TMh 2398 erneuert. Der Betreiber hat mehrere Störungen bezüglich der Umschaltvorgänge der Bioka - Steuerung von Diesel auf Rapsöl und umgekehrt gemeldet.

Die im Rahmen der Anfangsuntersuchung durchgeführte Messung der Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen zeigte bei Rapsölbetrieb niedrigere Werte als bei Dieselmotorkraftstoffbetrieb. Typischerweise waren jedoch die Stickoxide bei Betrieb mit Rapsöl höher.

Bei den Änderungen der Viskositäten während der Motorölwechselintervalle gab es jeweils zwei Grenzwertüberschreitungen. Die Total Base Number wurde bei zwei



Intervallen unterschritten und lag bei einem Wechselintervall am Grenzwert. Hinsichtlich der Verschleißelemente gab es eine Überschreitung des Bleigehaltes. Die Analyseergebnisse der Russ- und Rapsölgehalte lagen innerhalb der vorgesehenen Limitwerte von maximal 3% bzw. 15%.

Bei den Rapsölproben gab es eine Reihe an Grenzwertüberschreitungen bei den Parametern Gesamtverschmutzung und Wassergehalt, wobei eine allgemeine Verbesserung der Werte bei den Proben aus dem Traktortank aufgrund des höheren Dieselanteils festgestellt werden konnte.

Die im Rahmen der abschließenden Motoruntersuchung durchgeführte Messung der Kompression zeigte bei Zylinder 4 und Zylinder 6 jeweils einen starken Druckabfall. Die Druckverlustmessung im Brennraum zeigte ebenfalls keine zufrieden stellenden Werte.

Der Öffnungsdruck der Einspritzdüsen ist um bis zu 25 bar gesunken. Die Düsen spitzen waren mit einem geringen Belag versehen, die Düsenlöcher waren jedoch allesamt frei. Der Schaftbereich der Düsen war verkrustet und ist teilweise abgeblättert.

Der Zylinderkopf wies bei allen Zylindern einen relativ geringen schwarzen Belag auf, der im Randbereich in eine leichte Verkrustung übergeht.

Die Einlassventile wiesen am Übergang des Ventiltellers eine relativ dicke schwarze Kruste auf. Die Einlasskanäle hatten ebenfalls eine stellenweise relativ dicke schwarze Verkrustung.

Die Auslassventile waren allesamt mit einem dünnen grauen Belag versehen. Die Ventilsitze aller Ventile zeigten Spuren von Kokseinschlag.

Der Feuerstegbereich war bei allen Zylindern klar abgegrenzt und mit einer dicken schwarzen Belegkruste versehen. Die Zylinder 4 und 6 wiesen eine geringe Spiegelbildung auf.

Der Belag auf dem Kolbenboden von Zylinder 4 war stärker ausgeprägt als die übrigen. Das Spritzbild der Düsen war in der Kolbenmulde teilweise sichtbar. Die Kolben waren in der Stellung oberer Todpunkt kaum mehr beweglich.





Aufgrund der schlechten Kompressionswerte und der vergleichsweise starken Beläge im Brennraum wurde der Motor weiter demontiert und die Kolben gezogen. Der Feuerstegbereich der Kolben war mit einer dicken Kruste versehen. Der Bereich zwischen ersten und zweiten Kolbenring war überwiegend schwarz belegt. Jener zwischen zweiten und dritten Ring orange bis ockerfarben eingefärbt. Die Kolbenringe waren, mit Ausnahme von Ring 2 an Kolben 4, alle noch beweglich. Der Kolbenschaft wies bei allen Kolben im Bereich rund um die Kolbenbolzen eine schwarze Färbung auf. Der Schaftbereich der an- und ablaufenden Seiten, sowie die Kolbeninnenseite waren blank. Die Pleuellager wiesen bereits Verschleißspuren auf.

Der schlechte Motorzustand kann vermutlich auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass das Umrüstsystem laut Angaben der Firma Bergauer auf Verlangen des Traktorbesitzers teilweise außer Funktion gesetzt wurde. Seit April 2007 erfolgte die Schaltung des Systems ausschließlich durch die Motoröltemperatur.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 01-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	193
Abbildung 2: 01-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	194
Abbildung 3: 01-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	194
Abbildung 4: 01-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	195
Abbildung 5: 01-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	195
Abbildung 6: 01-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	197
Abbildung 7: 01-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	198
Abbildung 8: 01-OÖ Änderung der Total Base Number	199
Abbildung 9: 01-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	200
Abbildung 10: 01-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	200
Abbildung 11: 01-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit	205
Abbildung 12: 01-OÖ Anzahl der Starts in den jeweiligen Zeitintervallen (Laufzeiten)	206
Abbildung 13: 01-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts	207
Abbildung 14: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur	208
Abbildung 15: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur	208
Abbildung 16: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur	209
Abbildung 17: 01-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofftanktemperatur	210
Abbildung 18: 01-OÖ Einspritzdüse	215
Abbildung 19: 01-OÖ Zylinderkopf	216
Abbildung 20: 01-OÖ Einlass- und Auslassventil	216
Abbildung 21: 01-OÖ Zylinderlaufbüchse	217
Abbildung 22: 01-OÖ Kolbenboden	218
Abbildung 23: 02-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	223
Abbildung 24: 02-OÖ Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	224
Abbildung 25: 02-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	224
Abbildung 26: 02-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	225
Abbildung 27: 02-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	225
Abbildung 28: 02-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	227
Abbildung 29: 02-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	228
Abbildung 30: 02-OÖ Änderung der Total Base Number	228
Abbildung 31: 02-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	229
Abbildung 32: 02-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	230
Abbildung 33: 02-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit	233
Abbildung 34: 02-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Anzahl der Starts	234
Abbildung 35: 02-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts	235
Abbildung 36: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur	236

Abbildung 37: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur	236
Abbildung 38: 02-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstoffiltertemperatur	237
Abbildung 39: 02-OÖ Einspritzdüse	242
Abbildung 40: 02-OÖ Zylinderkopf	242
Abbildung 41: 02-OÖ Auslass- und Einlassventil	243
Abbildung 42: 02-OÖ Zylinderlaufbüchse	244
Abbildung 43: 02-OÖ Kolbenboden	244
Abbildung 44: 03-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	249
Abbildung 45: 03-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	250
Abbildung 46: 03-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	250
Abbildung 47: 03-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	251
Abbildung 48: 03-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	251
Abbildung 49: 03-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	253
Abbildung 50: 03-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	254
Abbildung 51: 03-OÖ Änderung der Total Base Number	254
Abbildung 52: 03-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	255
Abbildung 53: 03-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	256
Abbildung 54: 03-OÖ Einspritzdüse	263
Abbildung 55: 03-OÖ Zylinderkopf	263
Abbildung 56: 03-OÖ Einlass- und Auslassventil	264
Abbildung 57: 03-OÖ Zylinderlaufbüchse	265
Abbildung 58: 03-OÖ Kolbenboden	265
Abbildung 59: 04-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	271
Abbildung 60: 04-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	272
Abbildung 61: 04-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	272
Abbildung 62: 04-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	273
Abbildung 63: 04-OÖ Blow By bei maximalem Drehmoment	273
Abbildung 64: 04-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	275
Abbildung 65: 04-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	276
Abbildung 66: 04-OÖ Änderung der Total Base Number	277
Abbildung 67: 04-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	277
Abbildung 68: 04-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	278
Abbildung 69: 04-OÖ Einspritzdüse	285
Abbildung 70: 04-OÖ Zylinderkopf	285
Abbildung 71: 04-OÖ Einlassventile	286
Abbildung 72: 04-OÖ Auslassventile	286
Abbildung 73: 04-OÖ Zylinderlaufbüchse	287
Abbildung 74: 04-OÖ Kolbenboden	288

Abbildung 75: 05-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	293
Abbildung 76: 05-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	294
Abbildung 77: 05-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	294
Abbildung 78: 05-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende	295
Abbildung 79: 05-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	295
Abbildung 80: 05-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	297
Abbildung 81: 05-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	298
Abbildung 82: 05-OÖ Änderung der Total Base Number	299
Abbildung 83: 05-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	300
Abbildung 84: 05-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	300
Abbildung 85: 05-OÖ Einspritzdüse	308
Abbildung 86: 05-OÖ Zylinderkopf	308
Abbildung 87: 05-OÖ Einlassventile	309
Abbildung 88: 05-OÖ Auslassventile	310
Abbildung 89: 05-OÖ Zylinderlaufbüchse	310
Abbildung 90: 05-OÖ Kolbenboden	311
Abbildung 91: 06-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	317
Abbildung 92: 06-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	318
Abbildung 93: 06-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	318
Abbildung 94: 06-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	319
Abbildung 95: 06-OÖ Blow By Werte bei maximalem Drehmoment	319
Abbildung 96: 06-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	321
Abbildung 97: 06-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	322
Abbildung 98: 06-OÖ Änderung der Total Base Number	323
Abbildung 99: 06-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	324
Abbildung 100: 06-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	324
Abbildung 101: 06-OÖ Einspritzdüse	332
Abbildung 102: 06-OÖ Zylinderkopf	333
Abbildung 103: 06-OÖ Einlassventile	333
Abbildung 104: 06-OÖ Auslassventile	334
Abbildung 105: 06-OÖ Zylinderlaufbüchse	335
Abbildung 106: 06-OÖ Kolbenboden	335
Abbildung 107: 07-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	340
Abbildung 108: 07-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	341
Abbildung 109: 07-OÖ Änderung der Total Base Number	341
Abbildung 110: 07-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	342
Abbildung 111: 07-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	343
Abbildung 112: 07-OÖ Einspritzdüse	350

Abbildung 113: 07-OÖ Zylinderkopf	350
Abbildung 114: 07-OÖ Einlass- und Auslassventil	351
Abbildung 115: 07-OÖ Zylinderkopf mit ausgebauten Ventilen	351
Abbildung 116: 07-OÖ Zylinderlaufbüchse	352
Abbildung 117: 07-OÖ Kolbenboden	353
Abbildung 118: 08-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	357
Abbildung 119: 08-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	358
Abbildung 120: 08-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	358
Abbildung 121: 08-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	359
Abbildung 122: 08-OÖ Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment	359
Abbildung 123: 08-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	361
Abbildung 124: 08-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	362
Abbildung 125: 08-OÖ Änderung der Total Base Number	363
Abbildung 126: 08-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	364
Abbildung 127: 08-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	364
Abbildung 128: 08-OÖ Einspritzdüse	372
Abbildung 129: 08-OÖ Zylinderkopf	372
Abbildung 130: 08-OÖ Auslass- und Einlassventil	373
Abbildung 131: 08-OÖ Zylinderlaufbüchse	374
Abbildung 132: 08-OÖ Kolbenboden	374
Abbildung 133: 09-Bgld Änderung der Viskosität bei 40°C	381
Abbildung 134: 09-Bgld Änderung der Viskosität bei 100°C	381
Abbildung 135: 09-Bgld Änderung der Total Base Number	382
Abbildung 136: 09-Bgld Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	383
Abbildung 137: 09-Bgld Russgehalt in den Motorölproben	383
Abbildung 138: 09-Bgld Einspritzdüse	386
Abbildung 139: 10-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	391
Abbildung 140: 10-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	392
Abbildung 141: 10-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende	392
Abbildung 142: 10-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff Beginn/Ende	393
Abbildung 143: 10-OÖ Blow-by Werte bei maximalem Drehmoment	393
Abbildung 144: 10-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	396
Abbildung 145: 10-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	397
Abbildung 146: 10-OÖ Änderung der Total Base Number	397
Abbildung 147: 10-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	398

Abbildung 148: 10-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	399
Abbildung 149: 10-OÖ Einspritzdüse	406
Abbildung 150: 10-OÖ Zylinderkopf	406
Abbildung 151: 10-OÖ Einlassventile	407
Abbildung 152: 10-OÖ Einlasskanal Zylinder 3	407
Abbildung 153: 10-OÖ Auslassventile	408
Abbildung 154: 10-OÖ Zylinderlaufbüchse Zyl. 2	409
Abbildung 155: 10-OÖ Kolbenboden	409
Abbildung 156: 11-NÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	415
Abbildung 157: 11-NÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	416
Abbildung 158: 11-NÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	416
Abbildung 159: 11-NÖ Spez. Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	417
Abbildung 160: 11-NÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	417
Abbildung 161: 11-NÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	419
Abbildung 162: 11-NÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	420
Abbildung 163: 11-NÖ Änderung der Total Base Number	420
Abbildung 164: 11-NÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	421
Abbildung 165: 11-NÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	422
Abbildung 166: 11-NÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit	425
Abbildung 167: 11-NÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Anzahl der Starts	426
Abbildung 168: 11-NÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts	426
Abbildung 169: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur	427
Abbildung 170: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur	428
Abbildung 171: 11-NÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur	428
Abbildung 172: 11-NÖ Einspritzdüse	433
Abbildung 173: 11-NÖ Zylinderkopf	434
Abbildung 174: 11-NÖ Einlassventile	434
Abbildung 175: 11-NÖ Auslassventile	435
Abbildung 176: 11-NÖ Zylinderlaufbüchse	435
Abbildung 177: 11-NÖ Kolbenboden	436
Abbildung 178: 12-OÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	441
Abbildung 179: 12-OÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	442
Abbildung 180: 12-OÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	442
Abbildung 181: 12-OÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	443

Abbildung 182: 12-OÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	443
Abbildung 183: 12-OÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	446
Abbildung 184: 12-OÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	446
Abbildung 185: 12-OÖ Änderung der Total Base Number	447
Abbildung 186: 12-OÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	448
Abbildung 187: 12-OÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	448
Abbildung 188: 12-OÖ Zeitintervalle aufgetragen auf die Laufzeit	452
Abbildung 189: 12-OÖ Anzahl der Starts in den jeweiligen Betriebskategorien	453
Abbildung 190: 12-OÖ Gegenüberstellung Kalt- und Warmstarts	453
Abbildung 191: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Motoröltemperatur	454
Abbildung 192: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kühlflüssigkeitstemperatur	455
Abbildung 193: 12-OÖ Häufigkeitsverteilung der Kraftstofffiltertemperatur	455
Abbildung 194: 12-OÖ Einspritzdüse	459
Abbildung 195: 12-OÖ Zylinderkopf	460
Abbildung 196: 12-OÖ Einlassventile	460
Abbildung 197: 12-OÖ Zylinderlaufbüchse	461
Abbildung 198: 12-OÖ Kolbenboden	462
Abbildung 199: 13-NÖ Zapfwellenleistung Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	468
Abbildung 200: 13-NÖ Äquiv. Drehmoment Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	469
Abbildung 201: 13-NÖ Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	469
Abbildung 202: 13-NÖ Spezifischer Kraftstoffverbrauch Dieselkraftstoff und Rapsöl Beginn/Ende	470
Abbildung 203: 13-NÖ Blow-by bei maximalem Drehmoment	470
Abbildung 204: 13-NÖ Änderung der Viskosität bei 40°C	473
Abbildung 205: 13-NÖ Änderung der Viskosität bei 100°C	474
Abbildung 206: 13-NÖ Änderung der Total Base Number	474
Abbildung 207: 13-NÖ Verschleißgeschwindigkeit [mg/Bh]	475
Abbildung 208: 13-NÖ Rapsöl- und Russgehalt in den Motorölproben	476
Abbildung 209: 13-NÖ Einspritzdüse	483
Abbildung 210: 13-NÖ Zylinderkopf	483
Abbildung 211: 13-NÖ Einlassventil	484
Abbildung 212: 13-NÖ Auslassventil	485
Abbildung 213: 13-NÖ Zylinderlaufbüchse	485
Abbildung 214: 13-NÖ Kolbenboden	486
Abbildung 215: 13-NÖ Kolben mit Kolbenringen	487
Abbildung 216: 13-NÖ Kolben ohne Kolbenringe	487
Abbildung 217: 13-NÖ Lagerschale	488

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: 01-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn / Ende .....	196
Tabelle 2: 01-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	202
Tabelle 3: 01-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	203
Tabelle 4: 01-OÖ Zylinder- & Düsendokumentation .....	214
Tabelle 5: 03-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn .....	252
Tabelle 6: 03-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	257
Tabelle 7: 03-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	258
Tabelle 8: 03-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	262
Tabelle 9: 04-OÖ Gasförmige Emissionen Rapsöl/Diesel Beginn .....	274
Tabelle 10: 04-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	279
Tabelle 11: 04-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	280
Tabelle 12: 04-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	284
Tabelle 13: 05-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	296
Tabelle 14: 05-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung.....	296
Tabelle 15: 05-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	302
Tabelle 16: 05-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	303
Tabelle 17: 05-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	307
Tabelle 18: 06-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	320
Tabelle 19: 06-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung.....	320
Tabelle 20: 06-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	326
Tabelle 21: 06-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	327
Tabelle 22: 06-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	331
Tabelle 23: 07-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	345
Tabelle 24: 07-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	345
Tabelle 25: 07-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	349
Tabelle 26: 08-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	360
Tabelle 27: 08-OÖ Ergebnisse der Partikelmessung.....	360
Tabelle 28: 08-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	366
Tabelle 29: 08-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	367
Tabelle 30: 08-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	371
Tabelle 31: 09-Bgld Kraftstoffprobe aus dem Lagertank .....	384
Tabelle 32: 09-Bgld Zylinder- und Düsendokumentation .....	385
Tabelle 33: 10-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	394
Tabelle 34: 10-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	400
Tabelle 35: 10-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	401
Tabelle 36: 10-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	405
Tabelle 37: 11-NÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	418
Tabelle 38: 11-NÖ Ergebnisse Partikelmessung .....	418
Tabelle 39: 11-NÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank .....	423
Tabelle 40: 11-NÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank .....	424





Tabelle 41: 11-NÖ Zylinder- und Düsendokumentation .....	432
Tabelle 42: 12-OÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	444
Tabelle 43: 12-OÖ Ergebnisse Partikelmessung .....	444
Tabelle 44: 12-OÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	450
Tabelle 45: 12-OÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	451
Tabelle 46: 12-OÖ Zylinder- und Düsendokumentation.....	458
Tabelle 47: 13-NÖ Gasförmige Emissionen Beginn/Ende .....	471
Tabelle 48: 13-NÖ Kraftstoffproben aus dem Lagertank.....	477
Tabelle 49: 13-NÖ Kraftstoffproben aus dem Traktortank.....	478
Tabelle 50: 13-NÖ Zylinder- und Düsendokumentation .....	482