

Ergebnisse des Demonstrationsvorhabens „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren“

Egon Hassel, Volker Wichmann
Universität Rostock

1. Einleitung und Motivation

Das Demonstrationsvorhaben „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren“, im öffentlichen Sprachgebrauch auch als „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ bezeichnet, wurde durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) im Herbst 2000 initiiert und über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert. Die Universität Rostock hat dieses Vorhaben von April 2001 bis Oktober 2005 wissenschaftlich begleitet.

In jährlich 800 Betriebsstunden sollten 100 Schlepper zeigen, ob reines Rapsöl herkömmlichen Dieselkraftstoff sowohl unter technischen als auch unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten ersetzen kann. Da für den Einsatz von Rapsöl jedoch nicht alle technischen Probleme als umfassend geklärt galten und keine Freigaben durch die Traktorenhersteller vorlagen, bestand ein erhebliches technisches und finanzielles Risiko bei der Anwendung dieses Kraftstoffes.

2. Projektablauf

Von April 2001 bis Oktober 2002 wurden insgesamt 111 Traktoren im Rahmen des Projektes auf Rapsölbetrieb umgestellt. Daran beteiligten sich 7 Umrüster, von denen die Firmen VWP und Hausmann überregional agierten und mit insgesamt 82% das Gros der Umrüstungen übernahmen. Der Umrüster TC Bastorf verließ das Projekt aufgrund technischer Probleme, so dass die wissenschaftlichen Erhebungen auf der Analyse von 107 Traktoren basieren (Tabelle 1).

Die Traktoren wurden nach der Umrüstung in Abhängigkeit von der Betriebsgröße in ihrem typischen Einsatzspektrum mit reinem Rapsöl, das dem Qualitätsstandard RK genügen sollte, insgesamt 241.000 Stunden betrieben. Damit betrug die durchschnittliche Laufzeit je Traktor 2.257 Betriebsstunden. Im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Untersuchungen begleitete die Universität Rostock die Traktoren über den gesamten Betriebszeitraum und erfasste hierbei:

- das Umrüstkonzzept,
- die Leistung der Traktoren,
- die Abgasemissionen,

- die Betriebsstörungen,
- die Rapsölqualität,
- die Schmierölqualität und
- das Einsatzspektrum der Traktoren.

3 Jahre nach der Umrüstung bzw. spätestens im September 2005 endete der Versuchsbetrieb für die Traktoren innerhalb des Projektes. Allerdings werden 92 Traktoren nach Projektende weiterhin mit Rapsöl betrieben.

Umrüster	Traktorentyp	umgerüsteten Traktoren	Traktoren ohne bzw. mit geringen Störungen
VWP	Deutz-Fahr	41	32
	John Deere	7	0
	Fendt	6	6
	Welte	1	1
	New Holland	1	0
Hausmann	Fendt	18	18
	John Deere	6	0
	Case	4	1
	Deutz-Fahr	1	0
	Claas	1	1
	Same	1	0
	Lamborghini	1	1
Gruber KG	Case	10	2
Igl-LT.	Case	1	0
LBAG Lüc.	Fendt	4	1
	New Holland	1	0
Stangl-LT.	John Deere	2	0
TC Bastorf	Case	1	0

Tabelle 1: Aufstellung der Anzahl von Traktoren ohne oder mit geringen Störungen nach Umrüster und Traktorentyp

3. Umrüstkonzepte

Die erforderliche Umrüstung der Motoren umfasste eine Vielzahl von Maßnahmen, zu denen beispielsweise

- Motorblockvorwärmung,
- vergrößerte Leitungsquerschnitte im Kraftstoffniederdrucksystem,
- stärkere Niederdruckkraftstoffpumpen,
- vergrößerte Kraftstofffilter,
- Vorwärmung des Rapsöles,
- Temperaturregelung für das Rapsöl vor Hochdruckpumpe,

- rapsöltaugliche Hochdruckeinspritzpumpe,
- Einspritzdüsen mit höherer Anzahl von Düsenbohrungen (>5),
- veränderte Spritzgeometrie sowie
- Optimierung der Verbrennung über den Datensatz des Motorsteuergerätes

zählen, wobei sich die angewandten Anpassungsmaßnahmen von Motortyp zu Motortyp unterschieden. Von den 107 Umrüstungen erfolgte die überwiegende Mehrheit als „1-Tank-Konzept“ (Ein-Kraftstoff-System). Lediglich 11 CASE-Traktoren sind mit einem „2-Tank-Konzept“ (Zwei-Kraftstoff-System) durch die Firmen IGL-Landtechnik und Gruber ausgerüstet worden. An Traktoren anderer Hersteller wurden keine „2-Tank-Konzepte“ erprobt.

Einige Motoren waren bereits serienmäßig mit wesentlichen Komponenten des Umrüstkonzeptes ausgerüstet, so dass der Umrüstumfang geringer ausfallen konnte.

Der erforderliche Umrüstumfang musste für jede Motorenbaureihe und in Abhängigkeit von der geltenden Abgasstufe explizit ermittelt werden. Beispielhaft ist in **Abbildung 1** das Konzept der Firma LBAG Lüchow für den Fendt 411 mit vergrößertem Kraftstofffilter, elektrischer Vorwärmung und Druckregelung dargestellt.

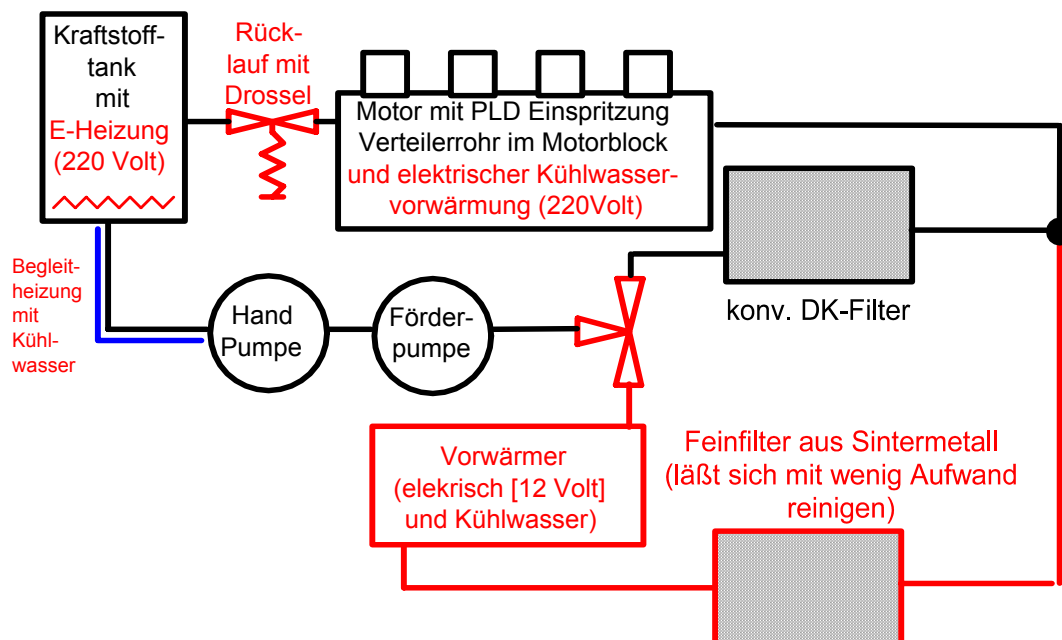


Abbildung 1: Umrüstkonzept am Beispiel der LBAG Lüchow für Fendt 411-Traktoren

Dem Kraftstoffsystem widmeten sich alle Umrüstkonzepte. Grundsätzliche Maßnahmen beinhalten die Vorwärmung des Rapsöles, die Vergrößerung der Leitungsquerschnitte und meist eine elektrische Vorwärmung des Motorblockes. Zwei Umrüster haben die Anpassungen des Kraftstoffsystems durch Veränderung der Einspritzmenge und Änderung der Düsengeometrie vertieft. Veränderte Wirkprinzipien (z. B. Wechsel des Brennverfahrens) bei der Einspritzung, Gemischbildung und Verbrennung kamen nicht zum Einsatz. Jedes der teilnehmenden Umrüstkonzepte war spätestens seit August 2001 mit mindestens einem Traktor im Demonstrationsvorhaben vertreten.

4. Leistungsverhalten

Im Vergleich zum DK-Betrieb erreichten die Traktoren 90 % bis 106 % der an der Zapfwelle gemessenen Nennleistung. Leistungsprobleme traten im Zusammenhang mit Störungen (z. B. an Einspritzpumpen) auf. **Abbildung 2** stellt das Leistungsverhalten eines störungsfreien Traktors über die Projektlaufzeit dar.

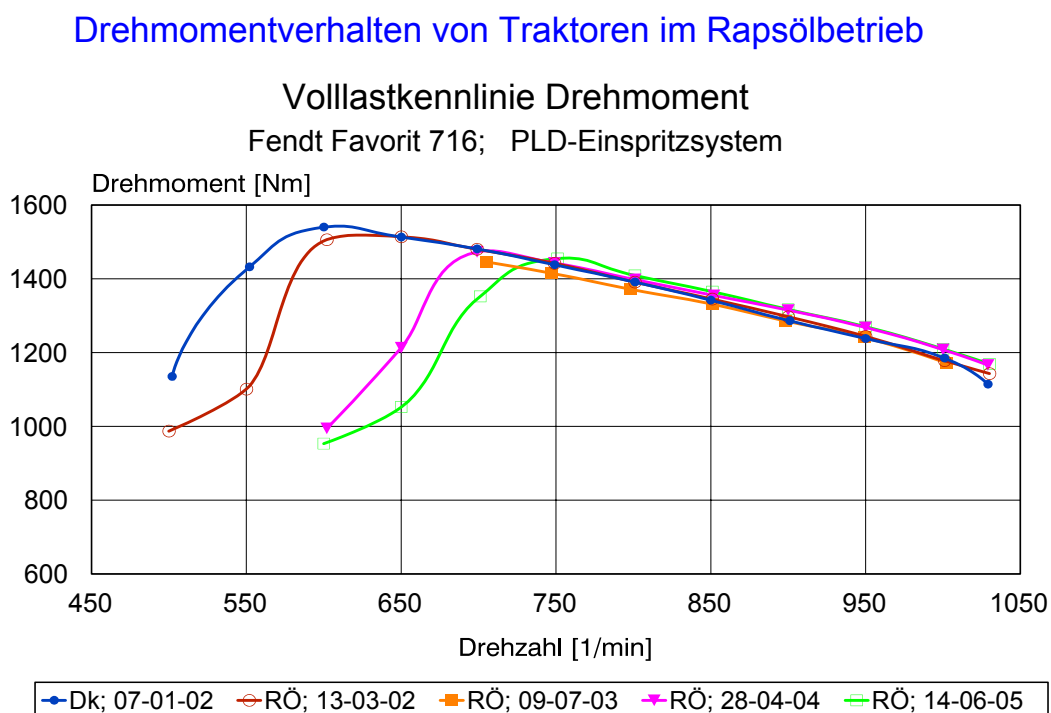


Abbildung 2: Drehmoment (Leistung) eines Traktors ohne Störungen

In **Abbildung 3** werden beispielhaft die Leistungsverluste eines Traktors mit Störungen an der Einspritzpumpe vom Typ VP 44 gezeigt. Bei Traktoren vom Typ Deutz Fahr (Umrüstung

VWP) traten zu Beginn des Vorhabens nach der Umrüstung in den Jahren 2001 und 2002 Leistungsprobleme auf, die durch entsprechende Modifikationen behoben werden konnten, so dass diese Traktoren in den Jahren 2003 bis 2005 mit annähernder Nennleistung betrieben werden konnten.

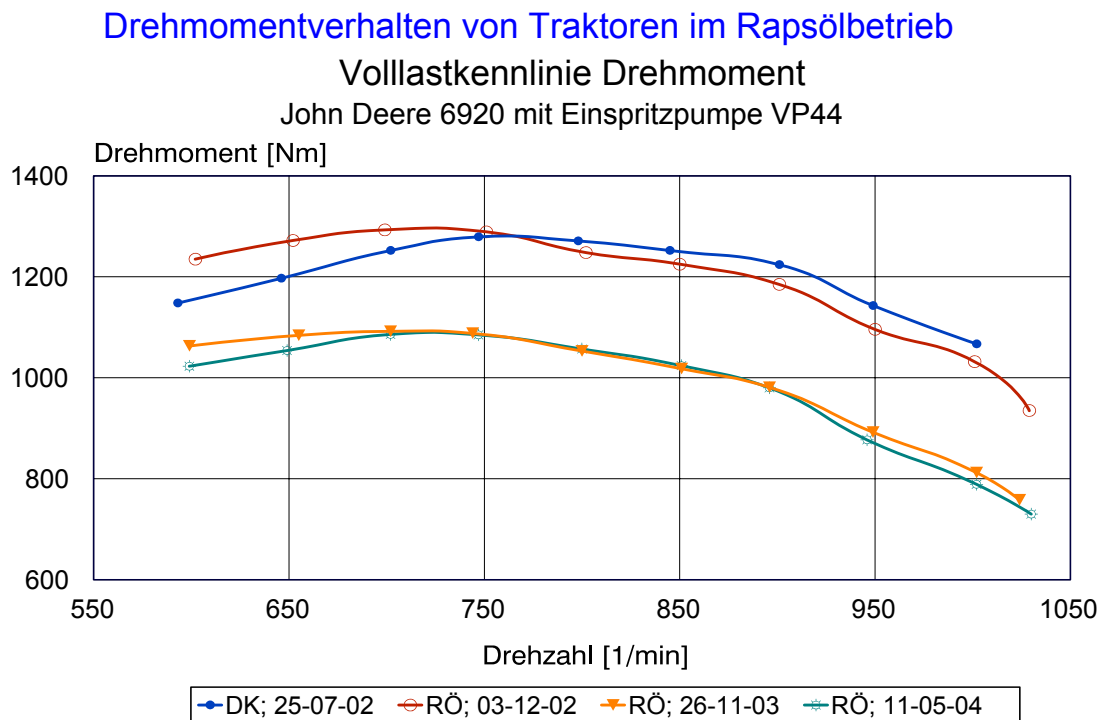


Abbildung 3: Drehmoment (Leistung) eines Traktors mit Einspritzpumpe VP44

5. Abgasemissionen

Das Emissionsniveau wird auch im Rapsölbetrieb durch die Abgaseinstufung des Traktors vor der Umrüstung (Euro I oder Euro II) bestimmt. Die Abgasemissionen im Rapsölbetrieb fielen bei den Traktoren direkt nach der Umrüstung auf Rapsöl, insbesondere in Bezug auf die NO_x-Emissionen, geringfügig schlechter aus als im DK-Betrieb vor der Umrüstung. Durch weitere Modifikationen der Umrüstkonzepte konnte das Emissionsverhalten insgesamt verbessert werden. Bei den jährlich wiederkehrenden Vermessungen wurde nur bei ca. 10% der Traktoren deutliche verschlechtertes Emissionsverhalten festgestellt. In diesen Fällen ist von Änderungen des Umrüstkonzeptes auszugehen, um die Leistung des Traktors über Nennleistung zu steigern. Die Kohlenmonoxidemissionen der Traktoren liegen insgesamt in der gleichen Größenordnung wie im DK-Betrieb.

6. Betriebsicherheit und Störanfälligkeit

63 der 107 Traktoren absolvierten die Projektlaufzeit ohne oder nur mit geringen Störungen (Reparaturkosten unter 1000 Euro) und werden auch weiterhin mit Rapsöl betrieben. Schwere und damit kostenintensive Störungen traten bei 44 Traktoren auf. Aus dieser Gruppe werden 29 Traktoren auch nach Projektabschluss mit Rapsöl betrieben, 15 Traktoren wurden auf Dieselkraftstoffbetrieb zurückgebaut.

Mit keinem der 7 eingesetzten Umrüstkonzepte gelang der störungsfreie Motorenbetrieb aller Traktorentypen und Baureihen über mehrere hundert Betriebsstunden. Fehler reichten von Leistungsverlusten, festgehenden Auslassventilen und defekten Einspritzpumpen bis hin zu Kaltstartproblemen.

Die Störanfälligkeit und die Schwere der Störungen verringerten sich im Laufe des Vorhabens von 2001 bis 2004, die Störungen der einzelnen Funktionsgruppen über die Projektlaufzeit sind in **Abbildung 4** dargestellt. Die Firma VWP (16 störungsfreie Traktoren) und die Firma Hausmann (13 störungsfreie Traktoren) haben unter Berücksichtigung der hohen Stückzahl an jeweils umgerüsteten Traktoren die mit Abstand geringsten Schadensquoten im Vorhaben zu verzeichnen. In **Tabelle 1** sind die Traktoren ohne oder mit nur geringen Störungen über die Projektlaufzeit mit Zuordnung zu den Umrüstern aufgeführt.

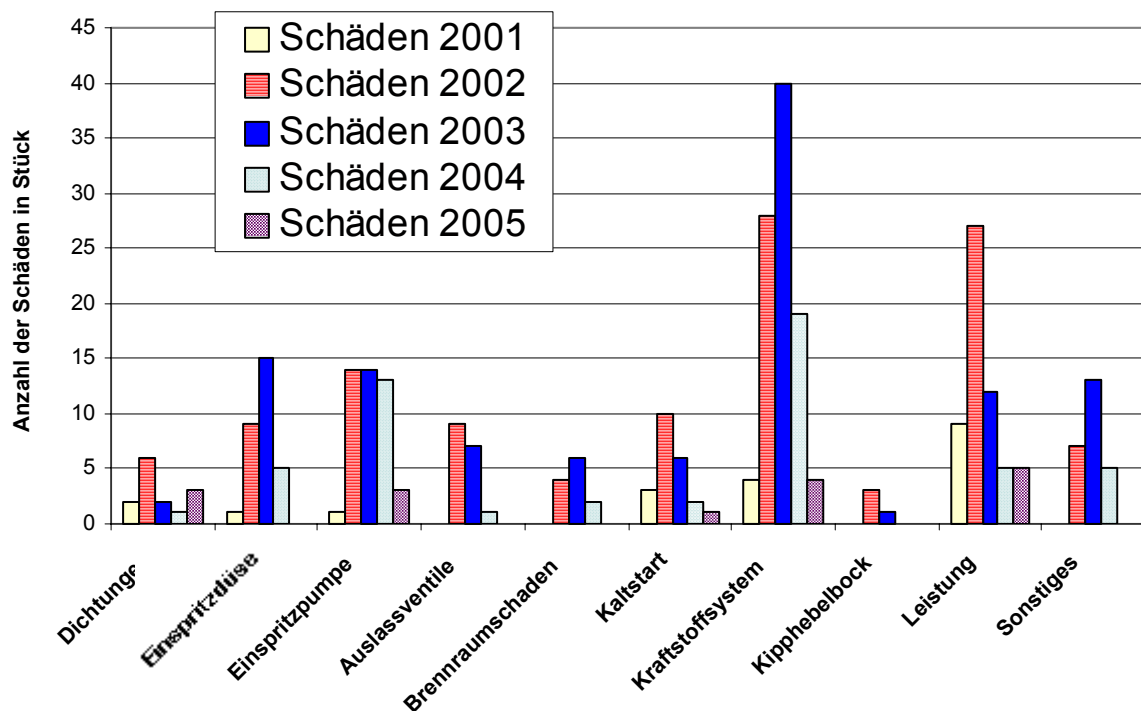


Abbildung 4 : Störungen der einzelnen Funktionsgruppen von 2001 bis 2005

Es ist festzustellen, dass die Störanfälligkeit eines Traktors im Rapsölbetrieb wesentlich vom Ausgangstyp des Traktors und erst sekundär vom eingesetzten Umrüstkonzept abhängt.

Als vergleichsweise störungsfrei erwiesen sich die Fendt-Traktoren des Typs 4XX und 7XX sowohl mit Umrüstungen der Firma VWP als auch der Firma Hausmann. Das Grundkonzept dieser Motorenbaureihen ist gekennzeichnet durch 4-Ventiltechnik, starken Drall der Verbrennungsluft, hohes Hub-Bohrungsverhältnis, zentrale Einspritzdüse, hohe Einspritzdrücke und Pumpe-Leitung-Düse- (PLD-) Einspritztechnik mit Einzelpumpen. Auch bei den Traktoren der Firma Deutz Fahr mit dem Deutz-Motor 1013 traten in der zweiten Projekthälfte wenig Schwierigkeiten auf, nachdem die Leistungsprobleme im Jahr 2002 behoben worden waren.

Ingesamt liegen relativ positive Betriebserfahrungen mit Hochdruck-Pumpe-Leitung-Düse-Systemen für den Rapsölbetrieb vor. Diese Systeme generieren hohe Einspritzdrücke mittels Schmieröl-versorgten Hochdruckpumpen, nutzen ein hydraulisch sehr steifes Einspritzsystem und zeichnen sich meist durch zentrale Anordnung der Einspritzdüsen (Einspritzstrahlen sind gleich lang) aus. Zudem verfügen diese Motoren über eine in den Motorblock integrierte Kraftstoffversorgung für die Einspritzpumpen. Die sorgt zusammen mit der elektrischen Motorkühlwasservorwärmung dafür, dass ab dem ersten Arbeitsspiel die Kraftstoffförderpumpe und der Kraftstoff vorgewärmt sind.

Weniger gute Betriebserfahrungen liegen mit kraftstoffgeschmierten, seitlich am Motor angeordneten Verteilereinspritzpumpen vor. Keiner der 7 Umrüster war in der Lage, Traktoren mit der Verteilereinspritzpumpe VP44 von Bosch erfolgreich für den Langzeitbetrieb mit Rapsöl umzurüsten. An Verteilereinspritzpumpen dieses Typs traten gehäuft Defekte auf. Auch andere Kraftstoff-geschmierte Einspritzpumpen, z. B. des Typs Stanadyne, waren dem Rapsölbetrieb oft nicht gewachsen. Die klassische Bosch-Reiheneinspritzpumpe, die an 3 Traktoren noch verbaut war, hat sich jedoch im Rapsölbetrieb bewährt und wurde teilweise erfolgreich als Ersatz für Verteilerpumpen eingesetzt.

Bei hohen Betriebsstundenzahlen traten bei einigen Traktorentypen festgehende Auslassventile auf.

Nicht den Umrüstkonzepten anzulasten waren hingegen häufig verstopfte Kraftstofffilter. Diese Betriebsstörungen konnten immer auf unzureichende, dem RK-Standard nicht entsprechende Kraftstoffqualitäten zurückgeführt werden.

Bezüglich der Eignung von COMMON-Rail-Systemen für den Rapsölbetrieb kann hier keine abschließende Aussage getroffen werden, da dieses System in den Jahren 2001 und 2002 noch nicht verfügbar war. Es wird jedoch angenommen, dass sich die notwendigen hohen Einspritzdrücke zur optimalen Gemischbildung des Rapsöls mit diesem System realisieren lassen. Als problematisch könnten sich Injektorsteuerungen herausstellen, die zu einem erheblichen Teil mit hydrodynamischen, stark viskositätsabhängigen Verstärkern arbeiten.

7. Verschleiß und Ablagerungen im Langzeitbetrieb

Aus der Gruppe der Traktoren, die die Projektlaufzeit ohne aufwändige Reparaturen an den den Brennraum umschließenden Bauteilen einschließlich Zylinderkopf und Einspritzsystem absolviert haben, wurden Modelle mit Laufleistungen über 3000 Stunden ausgewählt und bezüglich des Verschleißes untersucht. Hierbei konnte festgestellt werden, dass an der Reibpaarung Kolben / Buchse kein erhöhter Verschleiß aufgetreten ist und die Hohnriefen gut erhalten sind. Bei Traktoren, die oft im unteren Teillastgebiet betrieben worden sind, kam es zu Ölkohleablagerungen im Ansaugkrümmer und auf dem Einlassventil. Diese Ablagerungen wurden bei häufigem Volllastbetrieb nicht beobachtet.

Einige PLD-Einspritzsysteme wurden nach Abschluss des Projektes aus den Traktoren ausgebaut und beurteilt. Auch an diesen Teilen wurde kein übermäßiger Verschleiß festgestellt. Die genaue Begutachtung und Vermessung erfolgt zurzeit durch den Einspritzsystemhersteller. Grundsätzlich sind die durch den Hersteller vorgeschriebenen Wechselintervalle für die Einspritzdüsen einzuhalten.

8. Schmierölqualität

Zur Bewertung der Schmierölqualität dienten die Parameter Viskosität, Rußgehalt, TBN-Zahl und Rapsölkraftstoffgehalt. Auf der Grundlage von Trendanalysen im Abstand von 50 bis 80 Betriebsstunden (Bh) wurden die Ölwechselintervalle für die Traktoren festgelegt. **Hohe Rapsölgehalte im Schmieröl traten bei allen Umrüstkonzepten auf und machten eine deutliche Verkürzung (Halbierung bis Drittelung) der Ölwechselintervalle erforderlich.** Für 75% der Traktoren konnten zum Ende der Projektlaufzeit Ölwechselintervalle von >200 Bh realisiert werden (**Abbildung 5**). Plötzliche Viskositätsanstiege als Zeichen einer beginnenden Schmierölpolymerisation (Öleindickung) traten nur zu Beginn des Projektes bei 6 Traktoren als Folge von Dichtungsproblemen, thermischer Überlastung oder nicht

eingehaltener Ölwechselintervalle auf. Durch eine engmaschige Ölanalytik können kritische Ölzustände rechtzeitig erkannt und schwere Motorschäden vermieden werden.

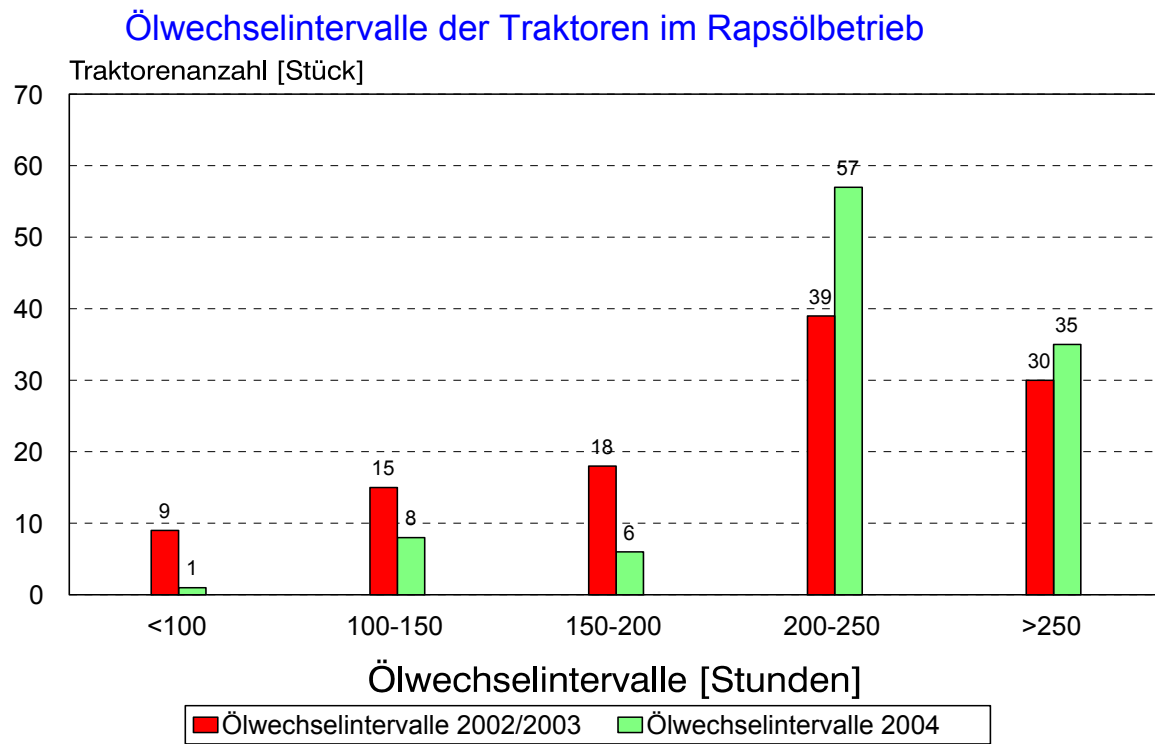


Abbildung 5: Schmierölwechselintervalle in Jahr 2005 bei Einsatz von Rapsöl

9. Rapsölqualität

Eine wesentliche Voraussetzung für den störungsfreien Motorbetrieb ist die Einhaltung einer definierten Kraftstoffqualität. Während des Demonstrationsvorhabens bildete der „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ die Grundlage für die Beurteilung der Rapsölqualität. **Mehr als die Hälfte der im Projektzeitraum analysierten Rapsöl-Lagertankproben erfüllten jedoch nicht die Anforderungen des „RK-Qualitätsstandards 05/2000“ (Abbildung 6).** Ursachen waren hauptsächlich ungeeignete Pressbedingungen, fehlende Reinigungsschritte, fehlende bzw. nicht sachgerecht betriebene Sicherheitsfilter, verschmutzte Lagerbehälter sowie mangelnde Saatqualität oder –lagerung. Die Rapsölqualität muss signifikant verbessert werden, um die verschärften Grenzwerte der zukünftigen Vornorm DIN V 51605 einhalten zu können. Der Aufbau eines umfassenden Qualitätsmanagementsystems ist unbedingt erforderlich, um Rapsöl als Kraftstoff am Markt zu etablieren.

Rapsölqualität für Traktoren in den Jahren 2001 bis 2005

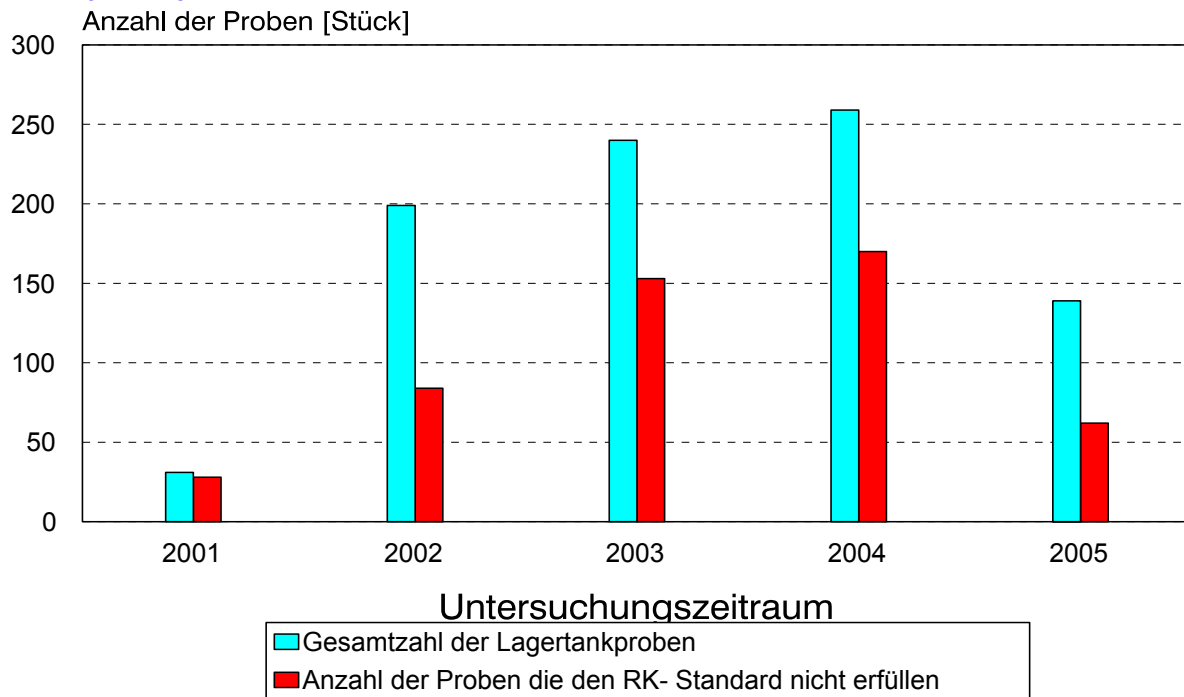


Abbildung 6: Qualität des eingesetzten Rapsölkraftstoffes beurteilt nach dem „RK-Qualitätsstandard 05/2000“

10. Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von 3 Jahren wurden 107 umgerüstete Traktoren in einem großangelegten Feldversuch hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit, Dauerfestigkeit und Betriebsicherheit im Rapsölbetrieb untersucht. In Abhängigkeit des Traktorentyps und des Technologiestandes des Motors kamen unterschiedliche Umrüst- und Anpassungsmaßnahmen am Niederdruckeinspritzsystem, Hochdrucksystem und am Verbrennungsmanagement zum Einsatz. Der Aufwand für die Umrüstung hing wesentlich von der Motorenkonstruktion ab. PLD-Motoren konnten in der Regel erfolgreich umgerüstet und betrieben werden. Bei Motoren mit Verteilereinspritzpumpen war der Umrüstaufwand wesentlich höher und ein längerer störungsfreier Betrieb mit Rapsöl oft nicht realisierbar.

63 der 107 Traktoren haben die Projektlaufzeit ohne bzw. mit geringen Störungen absolviert. Schwere und damit kostenintensive Störungen traten bei 44 bzw. mehr als 40% der teilnehmenden Traktoren auf. Die Betriebsstörungen reichten von Leistungsverlusten, Kaltstartproblemen, festgehenden Auslassventilen, defekten Einspritzpumpen bis hin zu Brennraumschäden. 15 Traktoren wurden aus technischen Gründen auf Dieselmotorenbetrieb zurückgerüstet.

Die Mehrzahl der Traktoren erreichte im Rapsölbetrieb mehr als 90 % der Motornennleistung.

Die CO- und NO_x-Emissionen am Nulllast- bzw. Volllastpunkt lagen – zumindest bei Traktoren der Abgaseinstufung 1 - in der Größenordnung des DK-Betriebes vor der Umrüstung.

Hohe Rapsölgehalte im Schmieröl traten bei allen Umrüstkonzepthen auf und erforderten eine Halbierung bis Drittelung der Ölwechselintervalle.

Insgesamt ist festzustellen, dass es 2 von 7 Umrüstern gelungen ist, bestimmte Traktorentypen erfolgreich und dauerhaft an den Rapsölbetrieb anzupassen. Keiner der 7 Umrüster war jedoch in der Lage, alle Traktorentypen, deren Umrüstung er zu Projektbeginn zugesagt hatte, dauerhaft an den Rapsölbetrieb anzupassen.

Das Demonstrationsvorhaben hat außerdem große Defizite hinsichtlich der Rapsölqualität aufgezeigt und die Notwendigkeit der Einführung umfassender Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung deutlich gemacht. Nur auf der Basis einer genormten und gesicherten Kraftstoffqualität sind ein störungsfreier Motorenbetrieb, die Durchsetzung von Gewährleistungsansprüchen und die Weiterentwicklung der Rapsöltechnologie möglich. Ein wichtiger Meilenstein war hierbei die Veröffentlichung des Entwurfs der Vornorm für Rapsölkraftstoff DIN V 51506 im Juni 2005. Die Erkenntnisse aus diesem Vorhaben sind unmittelbar nur auf Traktoren übertragbar, die dem technologischen Stand der Abgasnormen EURO I und EURO II entsprechen.

Eine breite Markteinführung von Rapsölkraftstoff erfordert umfangreiche Entwicklungsinvestitionen der Traktorenhersteller, um vorhandene Defizite bei einigen Traktorentypen zu beseitigen und die Rapsöltechnologie in Einklang mit den geltenden Abgasvorschriften zu halten. Das Vorhaben hat unter Beweis gestellt, dass der Einsatz von Rapsöl als Kraftstoff in der Landwirtschaft mit den vorhandenen Motorentechnologien bei Einhaltung bestimmter Randbedingungen möglich, zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nicht uneingeschränkt empfehlenswert ist.