

Pflanzenöl als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen

KTBL-Schrift 478



Autoren

Matthias Kohler | Prof. Dr.-Ing. Hermann Josef Knechtges | Klaus Thunke |
Dr. Edgar Remmele | Volker Wichmann | Peter Dönges | Dr. Hardwin Traulsen |
Teodora Georgieva | Helmut Döhler | Stefan Hartmann

Projektbetreuung

Henning Eckel, Helmut Döhler, Teodora Georgieva, Stefan Hartmann | (KTBL)

Mitarbeit

Dieter Bockey
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. | Berlin

Markus Winkler
DEUTZ AG | Köln

© 2009

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon +49 (0) 6151 7001-0 | Fax +49 (0) 6151 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de | <http://www.ktbl.de>

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Lektorat

Christine Weidenweber | Weibersbrunn

Redaktion

Henning Eckel | KTBL

Titelfoto

Technologie- und Förderzentrum (TFZ) | Straubing

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

Druck

Druckerei Lokay | Reinheim

ISBN 978-3-939371-88-5

Printed in Germany

Vorwort

Der Einsatz von Pflanzenölen in landwirtschaftlichen Maschinen wird seit vielen Jahren praktiziert, mit sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Sehr positiven Erfahrungen von Anwendern stehen Fälle von kostspieligen Maschinenschäden gegenüber. Entsprechend groß ist der Bedarf an neutralen und fachlich abgestimmten Hintergrundinformationen.

In den letzten Jahren sind umfangreiche Untersuchungen zu Vor- und Nachteilen eines Einsatzes von Pflanzenölen in landwirtschaftlichen Maschinen durchgeführt worden und eine Vielzahl von Umrüstkonzepthen ist auf dem Markt verfügbar. In einer Übersicht über die am Markt aktiven Systemanbieter werden die verfügbaren Umrüstsysteme mit ihren Besonderheiten dargestellt.

Für einen erfolgreichen Einsatz von Pflanzenölen muss das Umrüstkonzepth optimal auf den Motor abgestimmt sein, die Qualität des Kraftstoffs muss gewährleistet sein, Besonderheiten im Betrieb und bei der Wartung müssen beachtet werden.

Die vorliegende Schrift soll die Beurteilung von Umrüstsystemen erleichtern und eine Hilfestellung bei der Beantwortung der Frage geben, ob ein Einsatz von Pflanzenöl im landwirtschaftlichen Betrieb eine lohnenswerte Alternative sein kann.

Die Zusammenstellung der Informationen für diese Publikation wäre ohne die engagierte Mitarbeit der KTBL-Arbeitsgruppe „Pflanzenöl als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen“ und den befragten landwirtschaftlichen Betrieben nicht möglich gewesen. Allen daran Beteiligten gilt unser Dank.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in Der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

DR. HEINRICH DE BAEY-ERNSTEN

Hauptgeschäftsführer

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Nürtingen-Geislingen

PROF. DR.-ING. HERMANN JOSEF KNECHTGES

Vorsitzender der KTBL-Arbeitsgruppe
„Pflanzenöl als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen“

Inhalt

1	Marktübersicht zu Systemanbietern für Motorumrüstungen auf Pflanzenölbetrieb	
	MATTHIAS KOHLER, HERMANN JOSEF KNECHTGES.	7
1.1	Systemanbieter	7
1.2	1-Tank- oder 2-Tanksystem.	9
1.3	Funktionsbeschreibung	9
1.4	Empfohlene Einsatzbereiche	10
1.5	Verwendbare Pflanzenöle bzw. Kraftstoffe.	11
1.6	Wintereinsatz	12
1.7	Vertriebswege der Umrüstsysteme	13
1.8	Durchführung der Umrüstung	13
1.9	Kosten der Umrüstung.	13
1.10	Ersatzteilversorgung	14
1.11	Schutzart der eingesetzten Komponenten bzw. des Systems	14
1.12	Technische Eingriffe und/oder Modifikationen in der bestehenden Motorenhardware	15
1.13	Durchführung einer Leistungskompensation	15
1.14	Umrüstbare Motoren und Einspritzsysteme	16
1.15	Einschränkung in Bezug auf Motortyp, Hersteller der Maschine oder des Motors, Baujahr und Betriebsstunden	16
1.16	Anforderungen an die Motorschmierung.	17
1.17	Motorinnenraumreinigung	18
1.18	Qualitätsanforderung des eingesetzten Rapsöls	19
1.19	Dokumentation der Pflanzenölqualität	20
1.20	Existenz einer Betriebsanleitung, Wartungsheft für Serviceintervalle	20
1.21	Versicherungsempfehlung	20
1.22	Beweislast im Schadensfall	22
2	Pflanzenölkraftstoff	
	KLAUS THUNEKE, EDGAR REMMELE.	23
2.1	Eigenschaften und Qualitätsanforderungen	23
2.1.1	Chemische und physikalische Eigenschaften	23
2.1.2	Kraftstoffspezifische Eigenschaften	24
2.2	Nachbehandlung	30
2.2.1	Reduzierung aschebildender Elemente.	30
2.2.2	Additivierung	31
2.3	Lagerung.	31
2.3.1	Technische Anforderungen	31
2.3.2	Rechtliche Bestimmungen	33

2.4	Tankstellen	33
2.4.1	Technische Anforderungen	33
2.4.2	Rechtliche Bestimmungen	34
2.5	Bezug von Rapsölkraftstoff	34
2.6	Qualitätssicherung.	34
2.6.1	Einflüsse auf die Qualität bei der Produktion	34
2.6.2	Beprobung und Dokumentation der Rapsölkraftstoffqualität. .37	
2.7	Energiesteuergesetz und Biokraftstoffquotengesetz	39
3	Motortechnik	
	VOLKER WICHMANN	42
3.1	Anpassung an den Rapsölbetrieb	42
3.2	Niederdruckkraftstoffsysteem	42
3.3	Hochdruckkraftstoffsysteem	46
3.4	Energieumsetzung im Brennraum und Verbrennungsabgase . .50	
3.5	Abgasnormen für Motoren im Rapsölbetrieb und deren Auswirkung.	53
4	Empfehlungen zu Umrüstung und Betrieb	
	PETER DÖNGES, HARDWIN TRAUlsen	56
4.1	Vor der Umrüstung	56
4.2	Während des Betriebes	59
5	Praktische Erfahrungen mit Umrüstsystemen	
	TEODORA GEORGIEVA, HELMUT DÖHLER	64
6	Wirtschaftlichkeit	
	TEODORA GEORGIEVA, HELMUT DÖHLER, STEFAN HARTMANN	68
6.1	Einführung	68
6.2	Gesetzliche Rahmenbedingungen zur Nutzung von Rapsöl als Kraftstoff	68
6.3	Investitionen und Betriebskosten für die Umrüstung.	69
6.4	Wann lohnt sich die Umrüstung?	70
6.4.1	Einzelne Maschinen.	70
6.4.2	Modellbetriebskalkulationen	73
7	Erläuterungen von Fachbegriffen	76
8	Literatur	79
9	Anhang – Adressen der Systemanbieter	82
	Anschriften der Autoren.	85
	KTBL-Veröffentlichungen	86
	aid-Veröffentlichungen.	90

3 Motortechnik

VOLKER WICHMANN

3.1 Anpassung an den Rapsölbetrieb

Um Dieselmotoren optimal und störungsfrei mit Pflanzenöl betreiben zu können, müssen diese dafür optimiert werden. Die Optimierung umfasst das Niederdruckkraftstoffsystem, das Hochdruckkraftstoffsystem, die Verbrennung inklusive Emissionen und wenn vorhanden die Abgasnachbehandlung. Ohne diese Optimierung kann ein dauerhafter Betrieb mit Rapsöl nicht garantiert werden, da es sich, wie in Kapitel 2.1.2 ff. erläutert, in einigen für die Verbrennung wichtigen Größen von Dieselkraftstoff unterscheidet.

3.2 Niederdruckkraftstoffsystem

Die Aufgabe des Niederdruckkraftstoffsystems ist die Bereitstellung von Kraftstoff an der Hochdruckeinspritzpumpe mit dem benötigtem Vordruck (um die Befüllung der Hochdruckpumpe zu sichern), mit der benötigten Menge (um die Vollast zu erreichen) sowie mit der benötigten Viskosität (Temperatur, um eine optimale Gemischbildung zu ermöglichen und Einspritzpumpenschäden zu vermeiden). Eine weitere Aufgabe des Niederdruckkraftstoffsystems ist die Rückleitung nicht benötigten Kraftstoffs zum Kraftstofftank.

Durch die höhere Viskosität von Rapsöl ist es erforderlich, die Leitungsquerschnitte zu vergrößern und die Vorpumpenleistung zu erhöhen, um die Druckverluste insbesondere bei Temperaturen unter 0 °C begrenzen zu können. Hierbei kommt es nicht auf eine Erhöhung des Volumenstromes, sondern des Pumpendruckes an. Um eine Vorwärmung des gesamten Kraftstoffes (Rapsöl) in allen Rohrleitungen, Filtern usw. sicherzustellen, ist der Einsatz einer elektrischen Kraftstoffvorförderpumpe anstatt der mechanischen Pumpe im Kraftstoffkonzept vorzuziehen, die dann bereits vor dem Start des Motors den Kraftstoff im System umwälzen kann.

Die geringere Oxidationsstabilität des Rapsöles erfordert die Minimierung der Rücklaufmengen aus dem Kraftstoffsystem in den Motorentank. Damit wird erreicht, dass das thermisch und mechanisch beanspruchte Öl nicht längere Zeit im Tank gelagert, sondern schnellstmöglich verbraucht wird. Das bei Dieselkraftstoff angewendete System, Kraftstoffmengen in der Größenordnung des maximalen Verbrauches zu Kühlzwecken zwischen Tank und Hochdruckpumpe zirkulieren zu lassen, ist im Rapsölbetrieb keine optimale Lösung. Hier hat es sich als günstig erwiesen, die Rücklaufmenge deutlich zu reduzieren oder den Kraftstoff nur geregelt zurückströmen zu lassen. Auf die Rückströmung gänzlich zu verzichten ist nicht immer möglich, da die Motoren auch weiterhin selbstentlüftend sein sollen. Mit einem Zentrifugalluftabscheider nach der Hochdruckpumpe (Rücklaufsseite) kann der Dichte- oder Viskositätsunterschied erfasst und als Steuersignal

für die Entlüftung genutzt werden. Diese Form der Steuerung muss nicht elektronisch, sondern kann hier hydraulisch sein. Die hydraulische Steuerung basiert dann auf der Ausnutzung des Strömungsunterschieds zwischen Luft und Rapsöl in dünnen Rohren. Die Rücklaufmengen der Hochdruckpumpe und Leckmengen der Einspritzdüsen sollten nicht in den Tank, sondern der Vorpumpe über Drosseln direkt zugeführt werden.

Aufgrund der in manchen Fällen höheren Gesamtverschmutzung des Kraftstoffes sollte das Kraftstofffiltersystem daraufhin ausgelegt werden. Der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung in den Kraftstoffnormen ist zwar für Dieselkraftstoff und Rapsöl gleich; allerdings hat sich in Untersuchungen z. B. im „100 Traktorenprogramm“ gezeigt, dass sich der Mittelwert der untersuchten Proben deutlich unterscheidet. Der Mittelwert der untersuchten Dieselkraftstoffproben in der Universität Rostock lag bei 2 mg/kg und der der Rapsölproben im „100 Traktorenprogramm“ bei 25,2 mg/kg. Dies bedeutet statistisch betrachtet, dass auf dem Filter im Rapsölbetrieb ein deutlich höhere Menge an Ablagerungen bei gleichem Energiedurchsatz (Menge Heizwertäquivalent) untergebracht werden muss, ohne dass über den Filter ein unzulässig hoher Druckverlust aufgebaut wird. Dementsprechend sollte bei Einsatz von kaltgepressten Rapsölen eine deutliche Vergrößerung der Filteroberfläche erfolgen. Bei neueren Untersuchungen ist jedoch ein signifikanter Rückgang der Gesamtverschmutzung in den Proben und damit eine Qualitätsverbesserung zu verzeichnen [27]. Die Vergrößerung der Filteroberfläche verringert weiterhin den Druckverlust bei kaltem Rapsöl. Die Filterfeinheit des DK-Betriebes ist unbedingt beizubehalten, um alle schädlichen Verunreinigungen zu entfernen. Bei Einsatz von Kraftstoffen mit niedrigen Gesamtverschmutzungen kann diese Maßnahme deutlich geringer ausfallen. Eine Überwachung des Druckes vor der Hochdruckpumpe ist bei den jetzigen Kraftstoffqualitäten notwendig.

Die Vorwärmung und Temperaturregelung des Kraftstoffes erfolgt am besten über das Motorkühlwasser, welches im Normalbetrieb den Motor mit ungefähr 90 °C verlässt. Diese Vorwärmstrategie hat sich in Kopplung mit der elektrischen Kühlwasservorwärmung bewährt. Eine weitere Energiequelle zur Vorwärmung ist die Verlustleistung der Hochdruckpumpe (Hochdruckmengenregelung). Die hier zur Verfügung gestellte Energiemenge hängt wesentlich von der Mengenregelungsstrategie auf der Hochdruckseite ab. Bei modernen ansaugvolumengeregelten Common-Rail-Pumpen ist diese nutzbare Wärmeenergie – verglichen mit älteren Hochdrucksystemen – deutlich niedriger und reicht nicht für die Vorwärmung des Kraftstoffes aus. Zur Vorwärmung des Rapsöles und zur Minimierung der kühlenden Oberflächen des Einspritzsystems hat es sich als eine sehr gute Strategie erwiesen, die Kraftstoffleitungen und Hochdruckpumpen in den Motorblock oder den Zylinderkopf zu integrieren. Diese Integration geschieht z. B. bei den PD- und PLD-Einspritzsystemen.

Über einen Kühlwasser-Rapsöl-Wärmeübertrager kann Rapsöl bei einem Temperaturunterschied von 10 Kelvin auf 80 °C vorgewärmt werden. Für eine schnelle Vorwärmung des Rapsöles sollte möglichst warmes Kühlwasser (noch vor der Fahrgastraumheizung; Zylinderkopfkreislauf) und nicht das erst später warm werdende Wasser zum Kühler genutzt werden. Eine zusätzliche Wasserzirkulationspumpe in Verbindung mit der oben genannten elektrischen Motorvorwärmung unterstützt das Aufheizen insbesondere vor dem Kaltstart des Motors.

Die direkte Nutzung der Abgasenergie zur Vorwärmung des Rapsöles (Abgas-Rapsöl-Wärmetauscher) ist aus mehreren Gründen nicht realisierbar, beispielsweise die Überschreitung des Flammpunktes von Rapsöl (220 °C), wodurch es bei Leckagen zur Selbstentzündung an heißen Abgasteilen kommen kann. Ein anderes Problemfeld ist die Regelung der Rapsöltemperatur bei stark lastabhängigen Abgastemperaturen im Dieselmotor, dies erfordert aktive Regler die in den Abgasstrom eingreifen.

Die direkte elektrische Vorwärmung in einem Wärmeübertrager erfordert wertvolle elektrische Energie im Gegensatz zur Wärmeenergie des Kühlwassers, welches praktisch ohne Kosten zur Verfügung steht. Durch den Einsatz entsprechend großer Übertragungsflächen lässt sich die Oberflächentemperatur in elektrischen Vorwärmern auf ein rapsöltaugliches Niveau von 100 °C reduzieren. Aus den großen Übertragungsflächen folgt jedoch, dass der Vorwärmer vom Bauraum nicht kleiner als der Wasser-Öl-Wärmeübertrager wird. Aus diesen beiden Gründen ist die vollständige elektrische Vorwärmung des Niederdruckkraftstoffsystems nicht wirtschaftlich und wird auch nicht realisiert.

Das Niederdruckkraftstoffsystem muss so ausgelegt werden, dass ein Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff möglich ist. Um im Zulauf zur Hochdruckpumpe Dieseldieselkraftstoff auf einem niedrigen dieselmotortypischen Temperaturniveau zur Verfügung zu haben, ist es notwendig, die Kraftstoffvorwärmung mit einer Bypassleitung umgehen zu können.

Eine Alternative zu dem 1-Tanksystem ist hier das sogenannte 2-Tanksystem insbesondere für Nachrüstungen, bei denen keine umfangreichen Optimierungen im Hochdrucksystem und im Steuergerät stattfinden können oder sollen. Bei diesem System wird im unteren Teillastgebiet und im Leerlauf mit Dieseldieselkraftstoff gearbeitet, also in den Betriebspunkten in denen die größten Brennverhaltensdifferenzen zum Dieseldieselkraftstoff bestehen. In den oberen Lastgebieten (hoher Verbrauch) wird beim 2-Tanksystem dann mit Rapsöl gefahren. Für das Niederdruckkraftstoffsystem des 2-Tanksystems gilt prinzipiell das oben Gesagte mit folgenden Ergänzungen:

- Im Dieseldieselkreislauf ist ein Rücklauf zum Tank für Entlüftungszwecke erforderlich, dieser kann bei Betrieb mit Rapsöl gesperrt werden.
- Die Umschaltung sollte möglichst kurz vor der Hochdruckpumpe erfolgen, um lange Mischstrecken zu vermeiden, die den Kraftstoffwechsel verzögern. Hierbei kann auch das Zu- und Abschalten von Kraftstoffpumpen als Ventilfunktion genutzt werden.

- Die Systeme Dieseldieselkraftstoff und Rapsöl sollten getrennte Kraftstofffilter besitzen.
- Der Druck im Rapsölsystem sollte geringfügig über dem DK-Systemdruck liegen, um eine gute Befüllung der Hochdruckpumpe zu ermöglichen.

Das 2-Tanksystem ist im Niederdruckkraftstoffsystem deutlich aufwendiger und teurer als das 1-Tanksystem. Diese Mehrkosten werden jedoch teilweise durch geringere Aufwendungen bei der Hochdruckeinspritzung und weiteren Applikationen an den Rapsölbetrieb wieder eingespart. Das 2-Tanksystem bietet sich insbesondere für Nachrüstungen an, wenn nur geringe Applikationen im Steuergerät an den Rapsölbetrieb möglich sind. Das 1-Tanksystem ist für die OEM (Original End Manufacturer) der kostengünstigere Ansatz, wenn diese die mögliche Rapsölbetriebsanwendung bei der Motorkonzeption und Steuergerätebedatung berücksichtigen.

In den Abbildungen 3.1 und 3.2 ist für beide Varianten ein beispielhaftes System dargestellt:

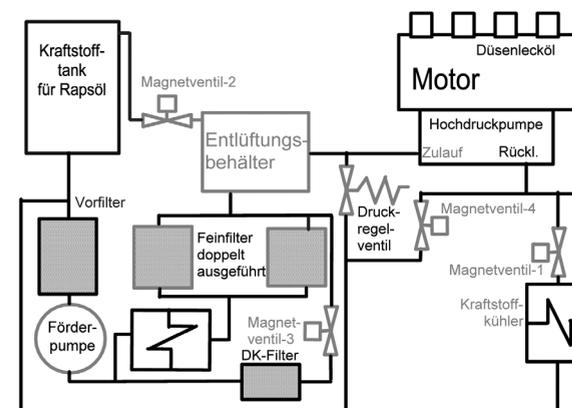


Abb. 3.1: 1-Tanksystem

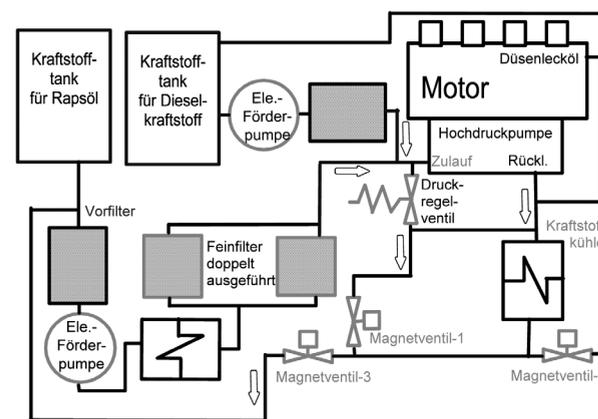


Abb. 3.2: 2-Tanksystem