

Facharbeit

Rapsöl als Kraftstoff für Dieselmotoren

Darstellung am praktischen Beispiel und unter
Berücksichtigung der Exponate des Deutschen Museums



Name : Marc Lüerssen

Notenpunkte : _____

Unterrichtsfach : Elektrotechnik

Note : _____

Kurslehrer : Herr Larws

Datum : _____

Abgabetermin : 19.02.2002

Unterschrift : _____

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	3
2.	Fossile und regenerative Kraftstoffe.....	4
2.1	Regenerative Energiequellen.....	4
2.2	Vor- und Nachteile von Rapsöl als Diesekraftstoffsubstitut.....	5
2.3	Chemische und physikalische Eigenschaften von Rapsöl und RME..	6
3.	Grundlagen des Dieselmotors.....	8
3.1	Entwicklung des Dieselmotors.....	8
3.2	Funktionsweise.....	9
3.3	Vor- und Wirbelkammer Verfahren.....	9
3.4	Direkteinspritzung.....	10
3.5	Einspritzpumpen.....	11
3.6	Pumpe-Düse und Common-Rail Technik.....	11
4.	Umrüstung eines Seriendieselmotors.....	12
4.1	Vorüberlegungen zum Umbau.....	12
4.2	Unterschiede zwischen 1- und 2-Tank Systemen.....	12
4.2.1	Besonderheiten des 2-Tank Systems.....	13
4.3	Erhitzung des Rapsöls.....	14
4.4	Kurzgeschlossener Rücklauf.....	14
4.5	Nachglühfähige Glühkerzen.....	16
4.6	Modifikation der Einspritzdüsen.....	16
4.7	Probleme und Risiken beim Umbau.....	17
5.	Pflanzenölmotoren.....	17
6.	Schlussbetrachtung und Ausblick.....	19
7.	Anhang	
7.1	Literaturverzeichnis.....	20
7.2	Abbildungsverzeichnis.....	22
7.3	Erklärung der selbstständigen Anfertigung.....	23
7.4	Einverständniserklärung.....	23

1. Einführung

Das Ende der weltweiten Mineralöl-Reserven ist bei dem stetig wachsendem Verbrauch in absehbare Nähe gerückt. Es gibt bereits vielfältige Lösungsansätze zur Nutzung regenerativer Energie, wie z.B. Wind- und Wasserkraftwerke. Für die Nutzung regenerativer Energie bei Fahrzeugen gibt es jedoch derzeit keine nennenswerten Technologien die in Serienprodukten eingesetzt werden.

Eine Alternative für Mineralölkraftstoffe ist die Verwendung von Biomasse. Hierbei eignen sich besonders pflanzliche Öle als Substitut für Dieselmotoren. Schon in der Entwicklungsphase ist der Dieselmotor mit Pflanzenöl betrieben worden. Der Naturkraftstoff verlor jedoch wegen der preislichen Vorteile fossiler Brennstoffe am Anfang des 20ten Jahrhunderts an Bedeutung. Durch die zu erwartende Verknappung von fossilen Brennstoffen und die damit verbundene Verteuerung von Mineralöl ist zu erwarten, dass der Einsatz regenerativer Energiequellen zunehmend wirtschaftlicher wird.

Der Betrieb von Dieselmotoren mit naturbelassenem Rapsöl hat gegenüber Diesel viele Vorteile. So ist der Betrieb mit Rapsöl CO₂ Neutral, da die CO₂ Emissionen des Motors von den Rapspflanzen wieder aufgenommen werden. Darüber hinaus sind auch die übrigen Schadstoff-Emissionen beim Betrieb mit Rapsöl meist geringer als beim Betrieb mit Diesel¹. Außerdem kann die Pflanzenölgewinnung in dezentralen Anlagen erfolgen. Auch muss das Rapsöl nicht umständlich und kostenintensiv umgeestert werden, wie es bei Biodiesel (Rapsölmethylester-RME) notwendig ist. Hierbei ergeben sich Vorteile hinsichtlich der Logistik und des Transports. Nachteilig wirkt sich aus, dass für den Betrieb mit naturbelassenem Rapsöl eine Umrüstung erfolgen muss.

In dieser Facharbeit sollen hauptsächlich die technischen Aspekte des Betriebes von Dieselmotoren mit Rapsöl berücksichtigt werden. Das Hauptaugenmerk soll hierbei auf den Betrieb mit naturbelassenem Rapsöl gerichtet sein.

¹ vgl. [21] Widmann, B. und Kern, C.

2. Fossile und regenerative Kraftstoffe

Um den wachsenden Weltenergiebedarf zu decken, werden immer mehr fossile Energiequellen erschlossen. Jedoch sind diese fossilen Energiequellen arg begrenzt und außerdem wird durch die Verbrennung CO₂ freigesetzt, was für den Treibhauseffekt verantwortlich gemacht wird. Zudem ist die Nutzung von Mineralöl-Kraftstoffen sehr stark von Importen abhängig. Das Rohöl wird zu einem Großteil aus den OPEC-Ländern importiert. Die hierfür verwendeten Tanker stellen eine ungeheure Bedrohung für die Umwelt dar. Insbesondere durch den hohen Energieverbrauch der Industriestaaten ist das Ende der Erdölreserven in absehbarer Nähe gerückt. Nach bisherigen Schätzungen reichen die Erdölvorkommen noch für ca. 40 Jahre. Um die Auswirkungen für die Umwelt zu minimieren, sollte man jedoch so früh wie möglich versuchen, die Abhängigkeit von Erdöl zu reduzieren.

2.1 Regenerative Energiequellen

Der Markt mit regenerativen Energietechniken ist weltweit im Wachstum. So sind derzeit Wind- und Wasserkraftwerke, Solar- und Geothermische Kraftwerke wichtige Faktoren der weltweiten regenerativen Energiegewinnung. Jedoch ist zu erwarten, dass neben der regenerativen Strom- und Wärmeenergiegewinnung auf dem Weg in die Unabhängigkeit von fossilen Energiequellen auch regenerative Kraftstoffe eine große Rolle spielen. Da die derzeitigen Systeme zur Nutzung regenerativer Energie für Kraftfahrzeuge noch nicht sehr vielversprechend, bzw. noch nicht sehr ausgereift sind (z.B. Wasserstoffautos), muss gerade hier verstärkt nach Lösungsansätzen geforscht werden. Die Verwendung pflanzlicher Öle als Ersatz für Dieselmotoren stellt dabei nur eine Möglichkeit dar. Allerdings ist die Umrüstung von Dieselmotoren mit relativ geringem Aufwand möglich, verglichen mit der Neuentwicklung von Wasserstoffautos und den zur Wasserstoffgewinnung notwendigen Photo-Voltaik Anlagen.

2.2 Vor- und Nachteile von Rapsöl als Dieselkraftstoffsubstitut

Der größte Vorteil von Rapsöl liegt in der CO₂ Neutralität, d.h. es wird bei der Verbrennung genauso viel CO₂ abgegeben, wie beim Wachstum der Pflanze aufgenommen wurde. Der wahrscheinlich wichtigste Vorteil für den Verbraucher ist der derzeit geringere Preis gegenüber Dieselkraftstoff. Nicht zu vernachlässigen ist das geringe Gefährdungspotential für Boden und Gewässer, das von Pflanzenöl ausgeht. Weiterhin wird durch Raps, als Anbaualternative für stillgelegte Flächen zur Einkommenssicherung der Landwirte beigetragen. Die Nutzungsmöglichkeiten für Rapsöl sind zahlreich. So eignet sich Rapsöl neben dem Einsatz als Kraftstoff auch als Energiequelle für Blockheizkraftwerke und Brennstoffkessel. Außerdem lassen sich durch den Einsatz dezentraler Rapsölpresen die Transportwege entscheidend verkürzen.

Allerdings ist mit der Nutzung aller landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen in Deutschland für den Rapsanbau höchstens ein Potenzial von etwa 6 - 7 % des Dieselkraftstoffbedarfs möglich². Weiterhin ist der extensive Anbau von Raps eine mögliche Quelle schädlicher Lachgas Emissionen. Nach Meinung des Umwelt Bundes Amtes ist die Einsparung von CO₂ Emissionen durch andere Maßnahmen wie z.B. verbesserte Motoren und bessere Wärmedämmung bei Häusern wesentlich günstiger zu erreichen, und bedarf geringerer Subventionen³. Zutreffend ist, dass erst durch die Stilllegungsprämien der Rapsanbau für die Landwirte gewinnbringend wird. So würde Rapsöl beim Wegfall dieser Stilllegungsprämie teurer sein als Diesel. Zudem ist Rapsöl nicht wie Diesel mit der Mineralölsteuer belastet. In der tatsächlichen Produktion ist Rapsöl somit bedeutend teurer als es Diesel ist. Hinsichtlich der derzeitigen Marktlage und unter Betrachtung der CO₂ Neutralität ist der Betrieb von Dieselmotoren mit Rapsöl eine hervorragende Möglichkeit um der Nutzung von regenerativen Energien einen An Schub zu geben.

2 vgl. [22] Widmann, B., 1999

3 vgl. [13] Kraus, K., Niklas, G., Tappe, M.

2.3 Chemische und physikalische Eigenschaften von Rapsöl und RME

Das größte Problem beim Einsatz von Rapsöl als Dieseldieselkraftstoffsubstitut ist die höhere Viskosität gegenüber Dieseldieselkraftstoff. So beträgt die kinematische Viskosität von Rapsöl bei 20°C ca. 78 mm²/s und ist somit ca. 20 bis 25 mal so hoch wie die Viskosität von Diesel (3,1 mm²/s). Mit steigender Temperatur verringert sich dieser Unterschied allerdings (siehe Diagramm). So beträgt die Viskosität von Rapsöl bei 40°C nur ca. 33 mm²/s und ist somit nur noch ca. 10 mal so hoch wie die von Dieseldieselkraftstoff. Diese Werte beziehen sich auf naturbelassenes Rapsöl. Um einen Dieselmotor mit naturbelassenem Rapsöl zu betreiben sind wegen der ungenügenden Zerstäubung und

unvollständigen Verbrennung, hervorgerufen durch die höhere Viskosität, Veränderungen am Motor nötig. So ist z.B. eine Erwärmung auf den idealen Temperaturbereich von 50 - 70°C empfehlenswert.

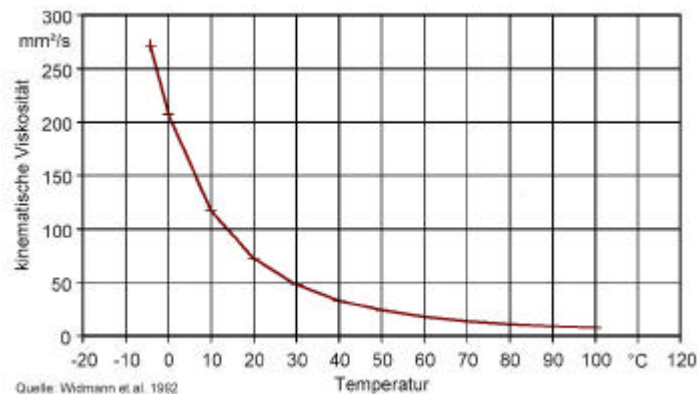


Abb. 1: Temperaturverlauf von Rapsöl

Anders hingegen beim Rapsölmethylester(RME), der im Alltags Gebrauch auch Biodiesel genannt wird. RME ist chemisch verändertes Rapsöl, für dessen Gebrauch am Dieselmotor fast keine Veränderungen vorgenommen werden müssen. Einzige Ausnahme sind die Dichtungen und Leitungen des Kraftstoffsystems bei nicht biodieseltauglichen Fahrzeugen, die durch RME aufquellen und somit zerstört werden können. Außerdem kann es vorkommen, dass RME Dieseldieselrückstände löst und somit den Dieselfilter verstopft. Hervorgerufen wird dieses durch die hohe Aggressivität von RME. Durch die Umesterung von Rapsöl zu Rapsmethylester wird auch die Viskosität dem Dieseldieselkraftstoff angenähert. So ist die Viskosität von RME mit 7,8 mm²/s nur ca. 2-3 mal so hoch wie die von Diesel (3,1 mm²/s), was schon ausreicht, um einen ungestörten Betrieb bei einem Serienfahrzeug zu gewährleisten. Allerdings betragen die Kosten für die Umesterung von Rapsöl zu RME ca. 15 Cent pro Liter.

Ein weiterer Unterschied zwischen Diesel und Rapsöl besteht in den verschiedenen Heizwerten pro Gramm Kraftstoff. So hat Rapsöl einen Heizwert von ca. 36,5 kJ/g. Diesel hat mit 42,7 kJ/g einen fast 19 % höheren Heizwert als Rapsöl. Dieser gravierende Unterschied wird allerdings durch die höhere Dichte von Rapsöl wettgemacht. Unter Einbeziehung der Dichte bei 20°C ergibt sich so ein Heizwert von 33,58 kJ/ml für Rapsöl und 35.95 kJ/ml für Diesel. Der prozentuale Unterschied beträgt somit nur noch ca. 7%. Allerdings wirkt sich dieser niedrigere Energiegehalt meist nicht merklich auf die Motorleistung aus.

Die angegebenen Werte und Berechnungen beziehen sich auf Tab. 1.

Tab. 1. : Kraftstoff Kennwerte ⁴

Kenngröße		Dieselmkraftstoff	Rapsöl	RME
Dichte (15°C)	[kg/dm ³]	0,842	0,920	0,884
kin. Viskosität (20°C)	[mm ² /s]	3,08	78,7	6,8-7,8
kin. Viskosität (40°C)	[mm ² /s]	3,2	33,1	4,9
Flammpunkt	[°C]	68	240	135
Heizwert	[kJ/g]	42,7	35,8-37,1	37,9

Da Rapsöl biologisch schnell abbaubar ist wird es nicht einer Wassergefährdungsklasse zugeordnet. Bedingt durch den hohen Flammpunkt von Rapsöl wird dieses auch nicht in eine Gefahrenklasse für brennbare Flüssigkeiten eingestuft. Die Lagerung von Rapsöl unterliegt somit keinen besonderen Auflagen.

⁴ Widmann, B.: S. 7

3. Grundlagen des Dieselmotors

1892 begann Rudolf Diesel (geboren 1858, gestorben 1913) mit seinem Motor zu experimentieren. Erst sein dritter Versuchsmotor brachte die gewünschten Ergebnisse. Dieser Motor wurde 1897 fertiggestellt und gilt als der erste Dieselmotor der Welt. 1890 kam Diesel die entscheidende Idee, wie der Verbrennungsvorgang einer Wärmekraftmaschine verbessert werden könnte⁵. Nach Diesel's Idee wird nur Luft angezogen, diese auf über 200 bar komprimiert und in diesem Punkt wird der Kraftstoff (schwere Stoffe wie Rohöl und Petroleum) in die erhitzte Luft eingespritzt. Die hohe Temperatur führt sofort zur Entzündung des Kraftstoffs durch Eigenzündung, was eine Zündkerze überflüssig macht. PKW Dieselmotoren erreichen maximal einen Kompressionsdruck von 40 bar.

3.1 Entwicklung des Dieselmotors

1893 wurde der erste Motor in der Maschinenfabrik Augsburg gebaut. Jedoch war die praktische Umsetzung von Diesel's Selbstzündung Idee schwieriger als geplant. Vorher wurde noch nie mit solch extrem hohen Drücken und Temperaturen gearbeitet, wodurch der Versuchsmotor auch zerstört wurde. Erst 1896 gelang es Diesel einen funktionsfähigen Motor erbauen zu lassen der mit einem Wirkungsgrad von 25% alle bisherigen

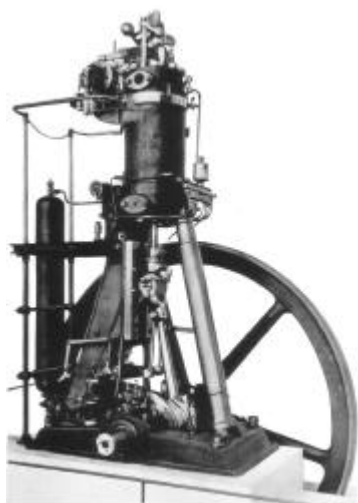


Abb. 3.:

Erster betriebsfähiger Motor, 1896

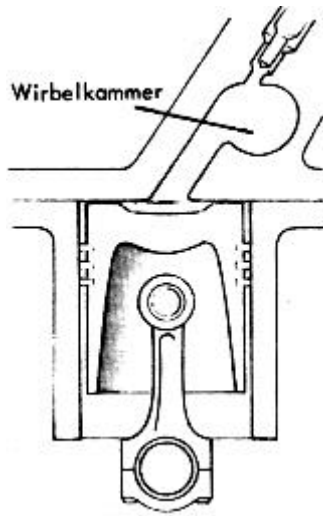


Abb.2 :
Versuchsmotor, 1893

Verbrennungsmotoren in den Schatten stellte. (Moderne Dieselmotoren erreichen einen Wirkungsgrad von ungefähr 46%.) Allerdings lag der erreichte Kompressionsdruck mit etwa 30 bar noch unter Diesel's Erwartungen. Ein weiteres Problem war die Kraftstoffzuführung. Zu diesem Zeitpunkt war die Realisierung einer Kraftstoff Einspritzung noch nicht möglich. So wurde erst 1927 eine serienreife Einspritzpumpe entwickelt. Bis dahin wurde eine

5 vgl. [3] Diesel, Rudolf

ist mit dem Hauptbrennraum über einen Kanal verbunden. Die Glühkerze die in die



Wirbelkammer ragt erhitzt beim Start die Luft, bevor der Kraftstoff in diese unter einem hohen Druck (ca. 100-150 bar) eingespritzt wird. Beim Verdichtungstakt des Motors wird die Luft in die Wirbelkammer gepresst und fängt dort auf Grund der Form der Wirbelkammer an zu Rotieren. Die Verbrennung beginnt in der Wirbelkammer und schreitet dann durch den Kanal in den Hauptbrennraum fort. Motoren mit diesem Verfahren eignen sich hervorragend für den Einsatz von Rapsöl, da durch die zusätzliche Kammer eine gute Zerstäubung des Kraftstoffes gegeben ist.

3.4 Direkteinspritzung

Durch die Direkteinspritzung von Dieseldieselkraftstoff soll der Verbrauch und bestimmte Schadstoff-Emissionen gesenkt werden. Erreicht wird dies durch einen höheren Einspritzdruck. Im Gegensatz zu Vor- und Wirbelkammer Motoren, wird der Kraftstoff direkt in den Hauptbrennraum eingespritzt. Im Zylinder befindet sich eine Mulde, in der sich der Kraftstoff mit der Luft mischt und verbrennt. Durch Luftwirbel in dieser Mulde wird vermieden, dass der Kraftstoff den Zylinderkopf direkt trifft und diesen somit zerstört. Außerdem werden bei Direkteinspritzenden Motoren

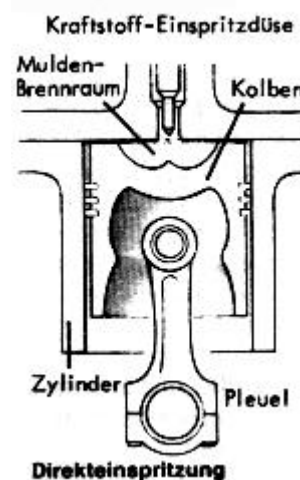


Abb. 6: Direkteinspritzung

Mehrlochdüsen verwendet. Bei Verkokung kann es dazu führen, dass einzelne Löcher dieser Düse verstopfen und der zwangsläufig höhere Druck auf den anderen Düsen einen zu starken Kraftstoffstrahl erzeugt, der den Zylinderkopf trifft und diesen somit nach einiger Zeit zerstört. Deswegen ist es bei Direkteinspritzenden Motoren besonders wichtig, dass vor dem Einsatz von Rapsöl die Einspritzdüsen in ordnungsgemäßen Zustand sind. Um dem entstehen von Verkokungen an den Düsen vorzubeugen, empfiehlt es sich insbesondere bei Direkteinspritzern, ein 2-Tank System zu verwenden und erst bei ausreichender Rapsöl- und Motortemperatur von Diesel auf Rapsöl umzuschalten.

3.5 Einspritzpumpen

Bei Vor-, Wirbelkammer und direkteinspritzenden Motoren unterscheidet man zwischen 2 verschiedenen Typen von Einspritzpumpen, den Verteiler- und den Reihen-Einspritzpumpen. Reiheneinspritzpumpen werden meistens in LKW-Motoren (ab 6 Zylinder) eingesetzt. Verteiler-Einspritzpumpen kommen bei PKW-Motoren (bis 6 Zylinder) zum Einsatz und sind günstiger als Reihen-Einspritzpumpen. Der Unterschied der beiden Pumpen besteht in der Anzahl der Pumpenelemente. Die Reihen-Einspritzpumpe besitzt für jeden Zylinder eine Hochdruckpumpe und die kostengünstigere Verteiler-Einspritzpumpe besitzt nur eine Hochdruckeinheit die alle Zylinder versorgt. Dadurch, dass bei der Reihen-Einspritzpumpe für jeden Zylinder ein Pumpenelement vorhanden ist, verteilt sich die Belastung somit auf mehrere Pumpenkolben. Ein weiterer Vorteil der Reihen-Einspritzpumpen besteht darin, dass die einzelnen Pumpenelemente von einer motorölgeschmierten Nockenwelle angetrieben werden. Somit ist eine ausreichende Schmierung auch bei zähflüssigem Rapsöl gesichert. Verteilereinspritzpumpen werden hingegen ausschließlich durch den Kraftstoff geschmiert. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Reihen-Einspritzpumpe durch den Einsatz von naturbelassenem Rapsöl zerstört wird, ist daher sehr gering.

Eine Ausnahme bei dem Einsatz von Einspritzpumpen bilden ältere Mercedes Modelle der Reihen W123 und W124. Diese Modelle sind durch den Einsatz von Reihen-Einspritzpumpen für den Betrieb mit Rapsöl meistens sogar ohne Umbau besonders geeignet. Bei Verteiler-Einspritzpumpen hingegen, kann es bei ungenügender Vorwärmung und zu hoher Belastung zu einem Rapsöl bedingten Defekt kommen.

3.6 Pumpe-Düse und Common-Rail Technik

Über die Eignung neuer Einspritzverfahren wie Pumpe-Düse und Common-Rail für Rapsöl liegen noch keine Langzeitberichte vor so, dass man sich bisher nur auf einzelne Erfahrungen stützen kann. Die Pumpe-Düse Einspritzung scheint durch die am Zylinderkopf angebrachten Pumpenelemente jedoch eine ausgesprochen gute Eignung für Pflanzenöle zu besitzen, da die hohe Temperatur des Zylinderkopfs sich somit direkt auf den Treibstoff überträgt. Außerdem ist bei dieser Technik wie bei der Reiheneinspritzpumpe ein Pumpenelement für jeden Zylinder vorgesehen. So ist zum

Beispiel der Betrieb eines VW Lupo 3L mit Pumpe-Düse Technik mit Rapsöl auch eingeschränkt ohne Umbau möglich.

4. Umrüstung eines Seriendieselmotors

Neben dem Einsatz spezieller Pflanzenölmotoren, besteht auch die Möglichkeit ein Seriendieselfahrzeug auf naturbelassenes Rapsöl umzurüsten.

4.1 Vorüberlegungen zum Umbau

Aufgrund der höheren Viskosität und des höheren Flammpunktes von Rapsöl sind eine gute Zerstäubung und eine ausreichend hohe Verbrennungstemperatur für einen ruhigen Motorlauf notwendig. Am besten eignen sich Dieselmotoren mit dem Vor- oder Wirbelkammverfahren für eine Umrüstung, da hier eine bessere Vermischung des Kraftstoffes mit der Luft stattfindet als in direkteinspritzenden Dieselmotoren. Generell sind Bosch Einspritzpumpen besser geeignet als Lucas(CAV) Einspritzpumpen, da diese der stärkeren Belastung durch die höhere Viskosität von Rapsöl meistens gewachsen sind. Ein wesentlicher Faktor jeder Umrüstung ist die ausreichende Erwärmung des Rapsöls um die Viskosität herabzusetzen und um eine gute Verbrennung zu gewährleisten. Weiterhin sollte man auf eine genügende Filterung achten, da Rapsöl ein Naturprodukt ist, dass nicht immer die gleiche Qualität hat und Unreinheiten leicht den Dieselfilter verstopfen können.

4.2 Unterschiede zwischen 1- und 2-Tank Systemen

Grundsätzlich wird bei der Umrüstung zwischen 1- und 2-Tank Systemen unterschieden. Beim **1-Tank** System wird nur ein Kraftstofftank benötigt. Dafür wird in der Regel der Originaltank verwendet. Bei diesem System wird das Fahrzeug mit Rapsöl gestartet, was insbesondere beim Kaltstart problematisch ist, da hier noch nicht die benötigten Temperaturen vorhanden sind um eine saubere Verbrennung zu gewährleisten. Außerdem kann durch das noch kalte, zähflüssige Rapsöl die Einspritzpumpe in einem so hohen Maße belastet werden, dass es zur Beschädigung kommt. Jedoch braucht bei diesem System vor dem Abschalten des Motors nicht auf Diesel zurück geschaltet zu werden, was eine Fehlbedienung durch z.B. nicht

eingewiesene Personen ausschließt. Dieses System eignet sich nur für Vor- und Wirbelkammermotoren.

Beim **2-Tank** System hingegen wird mit Diesel gestartet und nach Erreichen der Betriebstemperatur auf Rapsöl umgeschaltet. Dadurch wird verhindert, dass kaltes, zähflüssiges Rapsöl die Einspritzpumpe beschädigt. Kurz vor dem Abstellen des Motors wird zurück auf Diesel geschaltet, damit das Rapsöl aus der Einspritzpumpe verdrängt wird und Diesel für den nächsten Kaltstart bereitsteht. Außerdem bewirkt das Spülen mit Diesel, dass sich an den Einspritzdüsen weniger Ablagerungen vom Rapsöl festsetzen. In der Regel wird für den Dieseldieselkraftstoff ein extra Tank angeschlossen, der sich in der Reserveradmulde oder im Motorraum befindet. Das Rapsöl wird dann in den Haupttank des Fahrzeuges getankt. Bei manchen Anbietern (z.B. Firma Biocar) wird der Originaltank weiterhin für Diesel verwendet. Für den Rapsöltreibstoff wird dann ein kühlwasserbeheizter Reserveradmulden-Tank eingesetzt, wodurch auch der Betrieb mit gebrauchtem Rapsöl möglich ist. Der Einsatz des 2-Tank Systems ist auch bei modernen Dieselmotoren mit Pumpe-Düse oder Common-Rail Einspritzung möglich.

4.2.1 Besonderheiten des 2-Tank Systems

Um beim 2-Tank System eine Umschaltung zwischen Diesel und Rapsöl zu realisieren gibt es mehrere Lösungsansätze. Bei der günstigeren Variante bedient man sich eines einfachen Umschalthahnes. Allerdings ist hierbei eine Steuerung vom Innenraum aus nur schwer umzusetzen. Bei der teureren Variante bedient man sich eines Industrie Magnetventils (siehe Abbildung). Die Ansteuerung erfolgt hierbei elektrisch über einen Schalter im Innenraum. Der Vorteil dieser Variante liegt in der möglichen Automatisierung des Umschaltvorganges, z.B. bei Erreichen der Betriebstemperatur. Inzwischen ist die Umschaltung durch Magnetventile gängig und wird von den professionellen Umrüstern nur noch angewendet.

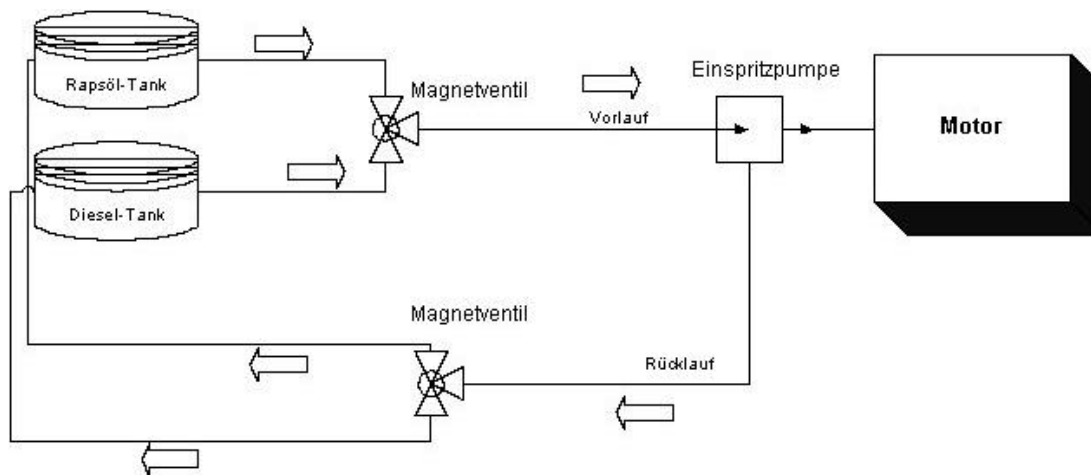


Abb.7: 2-Tank System mit Magnetventilen

4.3 Erhitzung des Rapsöls

Es gibt mehrere Möglichkeiten das Rapsöl auf die ideale Temperatur von ca. 50 - 70 °C zu erhitzen. Zum einen kann das Rapsöl durch Kühlwasser mittels eines Wärmetauschers erhitzt werden. Jedoch kann es je nach Motortyp zwischen 10 und 30 min dauern, bis der Motor auf Betriebstemperatur ist und das Kühlwasser ausreichend heiß ist. Die Erzeugung von zusätzlicher Energie ist nicht nötig, da hier nur die überflüssige Abwärme genutzt wird. Eine andere Möglichkeit zu Erhitzung des Kraftstoffes besteht in der Anwendung eines elektrischen Heizers. Der Nachteil hierbei ist jedoch die höhere Belastung der Lichtmaschine und der leicht höhere Kraftstoffverbrauch, da hier zusätzliche Energie erzeugt werden muss. Allerdings steht die Wärme durch eine elektrische Heizung sofort zur Verfügung.

Beide Möglichkeiten haben ihre Vor- und Nachteile. Als optimal lässt sich die Kombination aus beiden Systemen bezeichnen. Die Erwärmung des Kraftstoffes wird bis zum Erreichen der Betriebstemperatur von einem elektrischen Heizelement übernommen. Nach Erreichen der Betriebstemperatur schaltet sich das Heizelement ab und die Lichtmaschine wird nicht länger unnötig belastet. Die Erwärmung des Rapsöls geschieht dann nur noch durch den Kühlwasser-Wärmetauscher.

4.4 Kurzgeschlossener Rücklauf

Das von der Einspritzpumpe zu viel geförderte Rapsöl gelangt durch die Rückströmdrossel an der Einspritzpumpe und die Leckölleitung an den Einspritzdüsen

zurück in den Tank. Wenn das vorher erhitzte Rapsöl jetzt aus den Leckölleitungen wieder zurück in den Tank fließt und dort wieder abkühlt, stellt dies eine Verschwendung der Wärmeenergie dar. Um die Wärme des Rücklaufs zu nutzen empfiehlt es sich, den Rücklauf mit dem Vorlauf zu verbinden um den noch warmen, zu viel geförderten Kraftstoff wieder in die Einspritzpumpe zu leiten. Diese Veränderung hat jedoch mehrere Vor- und Nachteile.

Ein Vorteil liegt darin, dass die Kraftstoffvorwärmung nur noch von einer geringeren Menge Kraftstoff pro Zeiteinheit durchflossen wird und dieser somit länger in dem Heizelement verweilt und letztendlich heißer wird. Wie bereits erwähnt stellt die höhere Viskosität des Rapsöls eine höhere Belastung für die Einspritzpumpe dar. Durch die in aller Regel relativ dünnen (4-6mm) Original Spritleitungen zum Tank entsteht somit ein unnötiger Widerstand für das kalte, dickflüssige Rapsöl. (Zusätzlich ist es natürlich auch sinnvoll, die Kraftstoffleitungen gegen andere mit größerem Durchmesser zu tauschen.) Bei offenem Rücklauf wird durch diese dünnen Spritleitungen zwischen 30 und 50 Liter Kraftstoff pro Stunde umgewälzt. Der Verbrauch des Motors ist aber nur ein Bruchteil dieser Menge (ca. zwischen 2 und 15 l/h). Bei kurzgeschlossenem Rücklauf durchfließt nur die verbrauchte Menge Kraftstoff die dünnen Leitungen zum Haupttank, wodurch die Einspritzpumpe weniger belastet wird. Ein starker Nachteil beim kurzgeschlossenen Rücklauf besteht jedoch darin, dass durch Undichtigkeiten oder einen leergefahrenen Tank Luft ins System kommen kann, die dann im System verbleibt und zu Leistungsverlust bzw. zum Stehenbleiben des Motors führt.

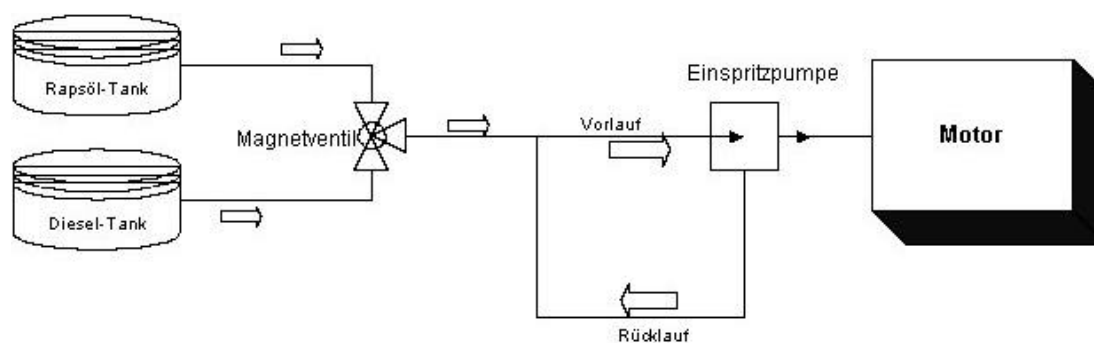


Abb.8: 2-Tank System mit kurzgeschlossenem Rücklauf

Mit offenem Rücklauf würde diese Luft zurück in den Tank geführt werden. Um dieses Problem zu umgehen, kann man sich eines Magnetventiles bedienen, das nur bei Bedarf den Rücklauf in den Tank schaltet. Ein weiteres Problem des

kurzgeschlossenen Rücklaufs betrifft die Sauberkeit des Kraftstoffes. Sollten trotz des Hauptfilters kleinste Schmutzpartikel in die Einspritzpumpe gelangen, so wird die Wahrscheinlichkeit eines Pumpenschadens größer, da die Schmutzpartikel so im Kreis gepumpt werden und nicht zurück in den Tank geleitet werden.

4.5 Nachglühfähige Glühkerzen

Um das Kaltstart-Verhalten beim Betrieb mit Rapsöl zu verbessern, bedarf es Änderungen im Motor. Die einfachste Möglichkeit ist der Einsatz von nachglühfähigen Glühkerzen. Normalerweise heizen die Glühkerzen nur vor dem Starten des Motors. Die Dauer des Vorheizens wird hierbei von einem Temperatursensor bestimmt. Um das Startverhalten zu verbessern ist es mit dem Einsatz von nachglühfähigen Glühkerzen möglich, auch nach dem Anlassen des Motors die Brennkammer zu beheizen. Bei extrem kalten Außentemperaturen kann es sein, dass die Glühkerzen bis zu 3 Minuten nach dem Starten durch ihre Heizwirkung für einen runderen Motorlauf sorgen, bis der Motor schließlich warm genug ist. Defekte Glühkerzen können auch für ein schlechtes Kaltstartverhalten beim Betrieb mit Rapsöl ausschlaggebend sein, selbst wenn der Kaltstart mit Diesel gut ist.

4.6 Modifikation der Einspritzdüsen

Um einen reibungslosen Betrieb mit Rapsöl sicherzustellen, muss darauf geachtet werden, dass die Einspritzdüsen in einwandfreiem Zustand sind, da sonst Schäden durch ungenügende Zerstäubung auftreten können, was insbesondere bei direkteinspritzenden Motoren verhängnisvoll sein kann. Um den Betrieb zu optimieren, kann es mitunter sinnvoll sein, die Original Einspritzdüsen gegen andere auszutauschen. So ist bei 1,6L VW-Wirbelkammermotoren der Einsatz von 12° Düsen meist sinnvoll, da durch die veränderte Düsengeometrie eine ordnungsgemäße Zerstäubung auch bei einem Kaltstart garantiert ist. Jedoch ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Betriebserlaubnis durch das Auswechseln der Düsen entfällt.

4.7 Probleme und Risiken beim Umbau

Soweit zur Theorie des Umrüstens. Aber in der Praxis stehen manchmal andere Probleme im Vordergrund. So betrifft ein vielfaches Problem die Undichtigkeiten im Kraftstoffsystem. Durch undichte Schlauchübergänge kann Luft in das System dringen und so die Leistung des Motors stark beeinflussen. Beim Betrieb mit Diesel mögen diese Undichtigkeiten noch nicht auftreten, jedoch wird durch das dickflüssigere Rapsöl die kleinste Undichtigkeit zu einem großen Problem. Außerdem können diese Undichtigkeiten durch einen verdreckten Kraftstofffilter begünstigt werden. Die Symptome sind meistens geringere Höchstgeschwindigkeit, stottern, Leistungsverlust, Ausgehen des Motors, nicht anspringen des Motors.

Ein weiteres Problem ist der Eintrag von Rapsöl in das Motoröl. Durch schlechtes Anspringen und langes Betätigen des Anlassers kann es dazu führen, dass das eingespritzte, unverbrannte Rapsöl an der Zylinderwand runterläuft und sich mit dem Motoröl vermischt. Durch eintretende Polymerisation des Rapsöls mit Bestandteilen des Motoröl, kann dieses verdicken und schließlich zum Defekt des Motors führen, da keine ausreichende Schmierung mehr gewährleistet ist. Daher empfiehlt es sich, den Motorölstand regelmäßig zu kontrollieren. Ein Anzeichen für den Eintrag von Rapsöl in das Motoröl ist das Ansteigen des Motorölpegels.

Desweiteren besteht die Möglichkeit, dass die Einspritzpumpe auf Grund des dickflüssigeren Rapsöls einen Defekt erleidet. Die Schäden an Motor und Einspritzpumpe lassen jedoch durch die Verwendung eines 2-Tank Systems minimieren.

5 Pflanzenölmotoren

Neben der Umrüstung eines Seriadieselmotors besteht auch die Möglichkeit, ein Fahrzeug mit einem Motor auszurüsten, der speziell für den Betrieb mit Pflanzenöl ausgelegt ist. Allerdings sind diese Motoren nicht sehr weit verbreitet, da durch die geringe Produktionszahl der Preis sehr hoch ist. Der wohl bekannteste Pflanzenölmotor ist der Elsbett-Motor. Der nach dem sogenannten „Duo-Therm“ Verfahren arbeitende Direkteinspritzer wurde bereits 1979 von Ludwig Elsbett entwickelt. Bei dem Duo-Therm Verfahren wird der Kraftstoff seitlich in die

Brennmulde eingespritzt. Die entstehenden Wirbel sorgen dafür, dass im Zentrum des Brennraums eine heiße Brennzone und im äußeren Bereich eine kalte Zone entsteht. Dadurch wird die thermische Belastung der Kolbenwand reduziert. Elsbett setzt bereits 1979 bei diesem Motor auf, in heutiger Zeit, wegweisende Technologien, wie z.B. die Direkteinspritzung und das Pumpe-Leitung-Düse Einspritzsystem⁶ (eine Variante des Pumpe-Düse Systems) und war seiner Zeit damit weit voraus. Elsbett-Motoren werden ausschließlich durch Öl gekühlt, da wegen des Duo-Therm Verfahrens auf eine Wasserkühlung verzichtet werden kann. Durch dieses Brennverfahren sind ausgesprochen niedrige Verbrauchswerte möglich. So erreichte bei der „ECO Tour of Europe“ 1993 ein mit einem Elsbett-Motor ausgerüsteter Mercedes 190 (Baujahr 1984) einen Verbrauch von 3.51 Liter/100 Kilometer. Da dieser Motor jedoch von den großen Automobilkonzernen abgelehnt wurde, konnte er niemals in Großserie produziert werden. Die Produktion des Elsbett-Motors wurde eingestellt.



Abb.9: Elsbett-Motor

6 vgl. Elsbett [5]

6. Schlussbetrachtung und Ausblick

Technisch gesehen ist die Umrüstung nicht sehr Aufwendig. Unter Beachtung der üblichen Umbaumaßnahmen und unter Verwendung eines qualitativ hochwertigen Rapsöls lässt sich das Restrisiko eines rapsölbedingten Motorschadens minimieren, jedoch niemals völlig ausschließen. So empfiehlt sich der Einsatz von Rapsöl insbesondere bei älteren Fahrzeugen, da hier die Technik nicht so kompliziert und teuer wie bei modernen Fahrzeugen ist. Dem Einsatz bei neuen Fahrzeugen steht außer den möglichen sehr hohen Reparaturkosten nichts in Wege. Jedoch lässt sich dieses Restrisiko durch gute Wartung minimieren.

Die Umrüstung kann von spezialisierte Betriebe oder findigen Bastlern durchgeführt werden. Derzeit ist das Umrüsten bei professionellen Umrüstern sehr teuer und lohnt sich nur für Vielfahrer. Eine Ausstattung vom Fahrzeugen ab Werk wäre hingegen ein großer Gewinn für die Nutzung regenerativer Energien. Leider ist die Akzeptanz in der Wirtschaft, insbesondere der Automobilbranche und der Politik sehr gering.

Um den Substitutionsanteil von Rapsöl am Dieselbedarf zu vergrößern ist eine Einbeziehung der osteuropäischen Flächenländer möglich. Außerdem steht auch der Benutzung von Altfetten und -ölen generell nichts im weg.

Wie ich bereits in der Anfangsphase dieser Facharbeit festgestellt habe, gibt es sehr wenig Literatur zu diesem Thema, speziell zu den technischen Aspekten. Dies verstärkt meinen Eindruck, dass die Automobilindustrie von diesem Thema gänzlich unbeeindruckt ist.

7.1 Literaturverzeichnis

- [1] **BioCar**
www.biocar.de

- [2] Breuer, Claus
Beitrag zur Verbrennung von Rapsöl und Rapsmethylester in direkteinspritzenden Dieselmotoren
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 219. Düsseldorf: VDI Verlag, 1994.
ISBN 3-18-321912-3

- [3] Diesel, Rudolf:
Die Entstehung des Dieselmotors
Moers: Steiger Verlag, 1984.

- [4] **Eckes´ Werkzeugkiste**
<http://eckesw.bei.t-online.de/>

- [5] **Elsbett**
www.elsbett.de

- [6] **Fahren mit Salatöl**
www.fmso.de

- [7] **Fatty-Fuels**
www.fatty-fuels.de

- [8] Goerke, Dietrich:
Ansatzpunkte zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Pflanzenöl als Treibstoff gegenüber Dieselkraftstoff
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 368. Düsseldorf: VDI Verlag, 1998.
ISBN 3-18-336812-9

- [9] Hrsg.: Robert Bosch GmbH (Chefred. Ulrich Adler):
Dieseinspritztechnik
Düsseldorf: VDI Verlag, 1993.

- [10] **Informationssystem Nachwachsende Rohstoffe**
www.inaro.de

- [11] Kasedorf, Jürgen und Woisetschläger, Ernst
Dieseinspritztechnik
Würzburg: Vogel Verlag, 1997.

-
- [12] Klee, Peter Heinrich:
Charakterisierung verschiedener Pflanzenölkraftstoffe hinsichtlich ihrer Eignung als Dieselmotorkraftstoffsubstitute unter besonderer Berücksichtigung ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften.
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 375. Düsseldorf: VDI Verlag, 1999.
ISBN 3-18-337512-5
- [13] Kraus, K., Niklas, G., Tappe, M.
Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff
Berlin: Umweltbundesamt, 1999
- [14] **Passat TDI Umbau auf Pflanzenölbetrieb**
<http://home.t-online.de/home/strutzberg/Auto/Auto.html>
- [15] **Pflanzenöl im Citroen Xantia**
www.pflanzenoel-auto.de
- [16] Reiser, Wolfgang:
Ermittlung von motor- und verbrennungstechnischen Kenndaten an einem Dieselmotor mit Direkteinspritzung bei Betrieb mit unterschiedlich aufbereitetem Rapsöl
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 316. Düsseldorf: VDI Verlag, 1997.
ISBN 3-18-331612-9
- [17] Schön, Hans
Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Dieselmotoren in PKW und BHKW
München: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2000
- [18] **Sönke's Rapsölseite**
www.dh5eah.purespace.de/salatoel
- [19] **Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.**
www.ufop.de
- [20] **Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie**
www.pflanzenoel-motor.de
- [21] Wagner, U
Ganzheitliche Systemanalyse für die Erzeugung und Anwendung von Biodiesel und Naturdiesel im Verkehrssektor
München: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 2001

- [22] Widmann, Bernhard
**Erhebung des technischen Standes bei pflanzenölbetriebenen
 Blockheizkraftwerken im Alpengebiet**
 Freising: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, 2001
- [23] Widmann, Bernhard und Kern, C.
**Exhaust Gas Emissions From Diesel-Engines Driven by Rape Seed Oil
 Methyl Ester, Rape Seed Oil and Diesel Fuel**
 München: Technische Universität
- [24] Widmann, Bernhard
Kraftstoffe auf Pflanzenölbasis - Stand der Technik und Bewertung
 München: Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, 1999

Abbildungsverzeichnis

Deckblatt:	Passat im Rapsfeld. aus [14].....	1
Abb.1:	Temperaturverlauf von Rapsöl aus [17].....	6
Abb.2:	Diesel´s Versuchsmotor von 1893 aus [3].....	8
Abb.3:	Erster betriebsfähiger Motor 1896 aus [3].....	8
Abb.4:	Viertaktverfahren aus Meyers Grosses Taschen Lexikon (Band 5)	9
Abb.5:	Wirbelkammerverfahren (Quelle Unbekannt/Uni Stuttgart).	10
Abb.6:	Direkteinspritzung (Quelle Unbekannt/Uni Stuttgart).....	10
Abb.7:	2-Tank System mit Magnetventilen.....	14
Abb.8:	2-Tank System mit kurzgeschlossenem Rücklauf.....	15
Abb.9:	Elsbett-Motor aus [5].....	18

Erklärung:

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum, Unterschrift

Einverständniserklärung:

Ich erkläre, dass ich mit einer schulinternen Öffentlichkeit der von mir verfassten Facharbeit einverstanden bin.

Ort, Datum, Unterschrift