

Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Institut für Pharmazie und Lebensmittelchemie

Lehrstuhl für Lebensmittelchemie

Prof. Dr. P. Schreier

Biodiesel

Seminararbeit
von Marcus Taupp

Vortrag
gehalten am 11.05.2001

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	S. 4
1. Raps als Kulturpflanze und Rohstofflieferant	S. 5
1.1 Raps als Kulturpflanze.....	S. 5
1.2 Verwendungszwecke von Rapsöl.....	S. 6
2. Der Dieselmotor	S. 7
3. Dieselkraftstoff	S. 9
3.1 Herstellung.....	S. 9
3.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften des Dieselkraftstoffs.....	S. 10
3.3 Verbesserung der Kraftstoffeigenschaften durch Additive.....	S. 13
4. Rapsöl als Treibstoff	S. 14
4.1 Gewinnung von Rapsöl.....	S. 14
4.2 Pflanzenöle für den Motorbetrieb: Problematik durch Fettbegleitstoffe.....	S. 15
4.3 Reinigungsschritte.....	S. 16
4.4 Physikalisch-chemische Eigenschaften von raffiniertem Rapsöl.....	S. 17
4.5 Verwendung von Rapsöl als Kraftstoff: Probleme.....	S. 20
4.6 Notwendige Umrüstungen für den Rapsölbetrieb.....	S. 21
4.7 Elsbett-Motor.....	S. 21
5. Biodiesel	S. 23
5.1 Herstellung.....	S. 23
5.1.1 Chemischer Reaktionsablauf.....	S. 23
5.1.2 Produktionsschema zur Herstellung von 1000 kg Rapsölmethylester.....	S. 24
5.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften von Biodiesel.....	S. 25
5.3 Biodieselpkapazität.....	S. 28
5.4 Fahrzeugumrüstung für den Biodieselbetrieb.....	S. 29
5.5 Freigaben ab Werk für den Biodieselbetrieb.....	S. 30
5.6 Nachrüstsets für ältere Dieselfahrzeuge.....	S. 30
5.7 Bezug, Transport und Lagerung von Biodiesel	S. 30

6.	Abgase.....	S. 32
6.1	Abgasnorm.....	S. 32
6.2	Limitierte Abgase.....	S. 32
6.3	Nicht limitierte Abgase.....	S. 34
6.3.1	Aldehyde und Ketone.....	S. 34
6.3.2	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe.....	S. 36
7.	Schlussbetrachtung.....	S. 37
7.1	Vorteile.....	S. 37
7.2	Nachteile.....	S. 38
7.3	Ausblick.....	S. 39
	Literaturverzeichnis.....	S. 40

Einleitung

Jahrzehnte lang gab es Erdöl im Überschuss und wurde zu einem geringen Preis angeboten. Mittlerweile hat sich diese Situation drastisch geändert. Ein ständig wachsender PKW- und LKW-Bestand gekoppelt mit abnehmenden Erdölvorkommen und die daraus resultierenden Preissteigerungen führten zu einem Umdenken, bei dem man sich auf alternative Kraftstoffe besann. Als Lösungsweg ist die Substitution von Dieselmotoren durch einen aus Rapsöl gewonnenen Kraftstoff, d. h. Rapsölmethylester, in die Praxis eingeführt worden.

Nachfolgend werden zunächst die Kulturpflanze Raps als Rohstofflieferant vorgestellt und die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten von Rapsöl skizziert.

Anschließend werden die Funktionsweise eines Dieselmotors erläutert und die Herstellung des konventionellen Dieselmotors sowie die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Treibstoffes erörtert

Der Hauptteil beschäftigt sich mit Biodiesel unter Berücksichtigung physikalisch-chemischer, chemischer, ökonomischer und umweltrelevanter Aspekte.

1. Raps als Kulturpflanze und Rohstofflieferant

1.1 Raps als Kulturpflanze

Raps gehört zur Familie der Kreuzblütler und hier zur Gattung Brassica. Das Erbgut ist aus den Genomen von Rübsen und Kohl zusammengesetzt. Freie Bastardisierung kann z. B. in der südwesteuropäischen mediterranen Zone erfolgt sein, da beide Eltern dort natürlich vorhanden sind. Deswegen hält man auch Südeuropa für das Ursprungsland. Raps wurde wahrscheinlich erst vor wenigen hundert Jahren in Kultur genommen. (vgl. [1])

Raps ist ein gelbblühendes Kraut mit einer bis zu 1,2 m langen Pfahlwurzel, die sehr gut die Nitratauswaschung aus oberen Bodenschichten verhindert. Die Pflanze hat einen kräftigen, bis zu 1,5 m langen Stengel und als Früchte Schoten mit 5 bis 12 Samen pro Schote.

Raps ist eine Langtagspflanze. Langtag verkürzt die Vegetationsdauer. In diesem Sinne ist der Raps den Tageslängen Mittel- und Nordeuropas sowie vergleichbarer Breiten recht gut angepasst. Während der Wachstumszeit bevorzugt der Raps kühl-gemäßigte Temperaturen und Jahresniederschläge von 600 bis 800 mm. Außerdem besitzt er eine Kälteresistenz bis -15°C . (vgl. [2]) Der Winterraps wird meist Ende August ausgesät, die Ernte erfolgt im Juli. Blüte ist von Mitte Mai bis Anfang Juni und dauert 8 bis 20 Tage. Pro Quadratmeter stehen 50 bis 100 Pflanzen. Raps ist eine nicht mit sich selbst verträgliche Pflanze. Der Anteil des Rapses innerhalb einer Fruchtfolge darf nicht mehr als 25% der Ackerfläche betragen. Dies bedeutet eine Anbaupause von 3 Jahren. Der Ertrag an Rapssamen liegt bei durchschnittlich 3 Tonnen je Hektar und Jahr. Aufgrund der größeren Leistungsfähigkeit dominiert im Anbau der Winterraps. (vgl. [3]) Gemessen an der Anbaufläche von Winterraps spielt der Sommerraps mit 2,5% eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 1.1: Datenblatt Kulturpflanze Raps (nach[1,3])

Herkunft Botanik	Wahrscheinlich Südeuropa Gelbblühendes Kraut, bis 1,2 m lange Pfahlwurzel, kräftiger bis 1,5 m langer Stengel; als Frucht Schote mit 5 bis 12 Samen
Klima- und Bodenansprüche	Gemäßigt; Winterraps: winterfest bis -15°C ; Langtagspflanze, jährl. Niederschlag 600 bis 800 mm; tiefgründige, humus- und nährstoffreiche Böden mit guter Kalkversorgung
Anbausystem	Überwiegend im Herbst ausgesäte Winterform, 3 jährige Anbaupause nötig
Aussaat	Mitte August bis Anfang September; Bestandsdichte 50 bis 100 Pflanzen pro m^2
Düngung	Hoher Nährstoffbedarf : Stickstoff: 180 bis 300 kg/ha Phosphor: 60 bis 100 kg/ha Schwefel: 80 bis 100 kg/ha Eisen: 350 bis 800 g/ha Zink: 400 bis 700 g/ha Gülle kann einen Teil der Mineraldüngung ersetzen
Pflanzenschutz	Bekämpfung tierischer Schädlinge und Krankheitserreger notwendig
Ernte Ertrag Hauptanbaugebiete	Maschinell, Blüte Mitte Mai, Ernte im Juli Durchschnittlich 3 t/ha; Ölgehalt 40 bis 50% China, Indien, Kanada, Deutschland, Frankreich

Für Speisezwecke wurde sog. 0-Raps gezüchtet. Dieser enthält keine gesundheitlich bedenkliche Erucasäure mehr, dafür höhere Anteile an Öl- und Linolsäure. Beim sog. 00-Raps wurden die scharf schmeckenden, als störend empfundenen Glucosinolate durch Züchtung eliminiert. (vgl. [4])

1.2 Verwendungszwecke von Rapsöl

Raps wird zu Rapsöl verarbeitet (vgl. Abbildung 1.2). Dieses findet vor allem Verwendung in der Nahrungsmittelindustrie, der Rest kommt in der Oleochemie, zur Herstellung von Schmierstoffen und zur Produktion von Biodiesel zur Anwendung (Abbildung 1.1).

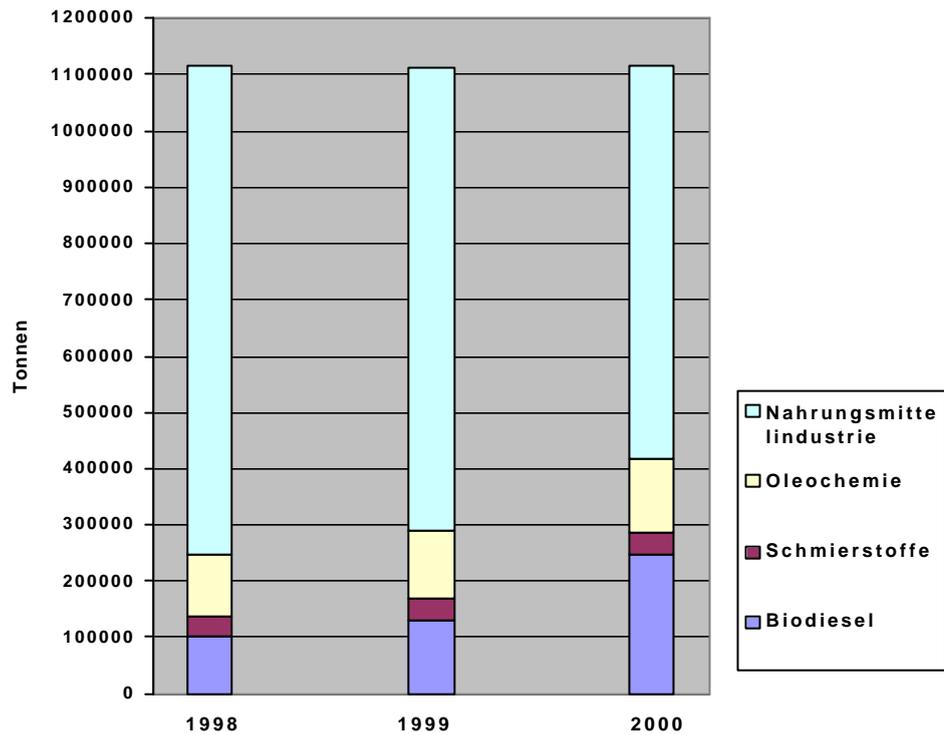


Abbildung 1.1 : Verwendungszwecke von Rapsöl (nach [5])

Im Detail lässt sich die Verwendung von Raps folgendermaßen skizzieren (Abbildung 1.2):

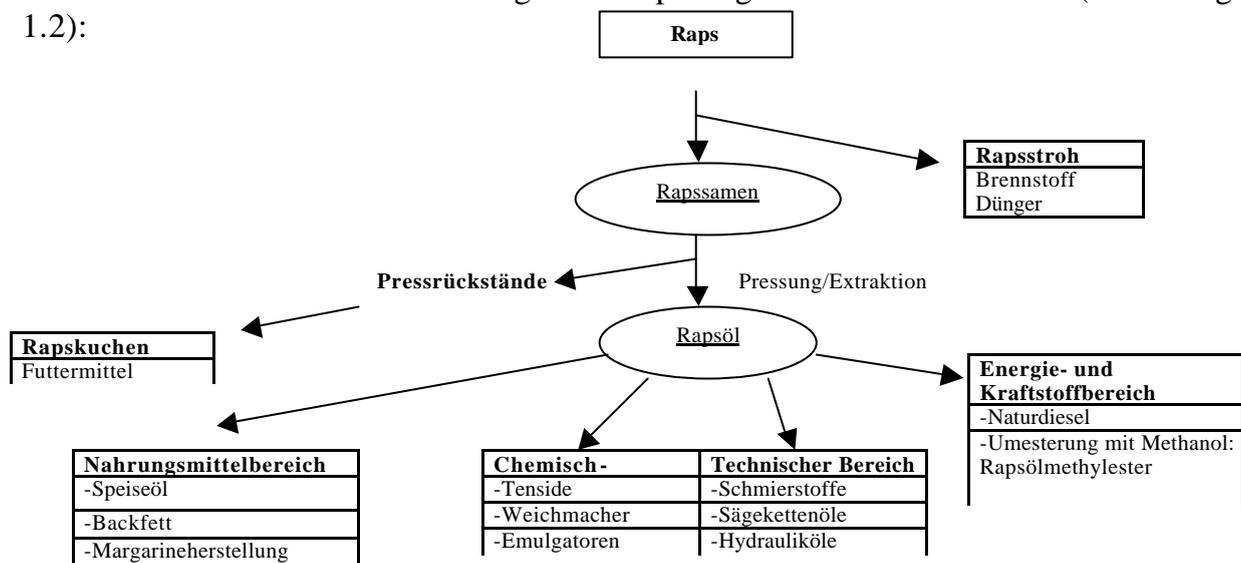


Abbildung 1.2: Verwendungszwecke von Rapsöl (nach [1])

2. Der Dieselmotor

In einem Verbrennungsmotor wird die in einem Kraftstoff enthaltene Energie durch Verbrennung in Wärme und diese wiederum in Bewegungsenergie bzw. mechanische Energie umgewandelt. Verbrennungsmotoren werden in zwei Klassen eingeteilt: Diesel- und Ottomotoren. Die meisten stellen Viertaktmotoren dar, der Zweitaktmotor spielt eine untergeordnete Rolle.

Der Dieselmotor wurde 1894 von Rudolph Diesel entwickelt, der Ottomotor 1872 von Nikolaus August Otto.(vgl. [6])

Von der Mechanik her ist der Dieselmotor dem Ottomotor sehr ähnlich. Der größte Unterschied liegt im Kraftstoff. Dieseldieselkraftstoff verdampft bei normalen Temperaturen nicht und kann deswegen nicht wie Benzin ein brennbares Kraftstoff-Luft-Gemisch bilden.

Tabelle 2.1 : Übersicht über verschiedene Kraftstoffkenndaten (nach [7])

Kraftstoff	Molekülgröße	Molekularmasse	Siedebereich °C	Flammpunkt °C	Dichte kg/m³
Otto	C ₅ -C ₁₂	72-170	30-200	bis 50	715-790
Diesel	C ₁₀ -C ₂₂	142-310	180-360	58-65	820-860

Das Viertakt-Verfahren des Dieselmotors ist in Abb. 2.1 bildlich dargestellt. Beim Abwärtsgehen des Kolbens saugt der Dieselmotor reine Luft in den Zylinder. Diese wird beim Aufwärtsgehen des Kolbens stark verdichtet (Verdichtungsverhältnis von 14:1 bis 25:1). Dabei entsteht ein Druck von 32 bis 40 x 10⁵ Pascal (32-40 bar), wobei sich die Luft auf 600-900 °C erhitzt. In diese heiße, verdichtete Luft wird nun der flüssige Kraftstoff in Form eines sehr feinen Sprühnebels mit einem Druck von 900 x 10⁵ Pascal (900 bar) eingespritzt. Er entzündet sich darin von selbst nach einer kurzen Verzögerung von etwa einer Millisekunde, während der er zunächst verdampft (Zündverzug). Dabei entwickelt er einen Arbeitsdruck von circa 70 x 10⁵ Pascal (70 bar). Die dabei entstehenden Verbrennungsgase treiben den Kolben nach unten. Bei der darauffolgenden Aufwärtsbewegung des Kolbens werden die Verbrennungsabgase ausgestoßen, worauf der aus Ansaugen, Verdichten, Einspritzen, Verbrennen und Ausstoßen bestehende Arbeitsgang von vorn beginnt. (vgl. [8])

Ein Dieselmotor verbraucht im Vergleich zu anderen Kraftfahrzeugmotoren weniger Kraftstoff. Der Wirkungsgrad eines Dieselmotors ist wegen der hohen Verbrennungstemperatur wesentlich größer als beim Ottomotor. Er erreicht im günstigsten Fall Werte von über 40%; d. h. 40% der zugeführten Wärmeenergie werden in mechanische Energie umgewandelt. (vgl. [9])

1. Takt: Ansaugen
2. Takt: Verdichten
3. Takt: Verbrennen
4. Takt: Ausstoßen

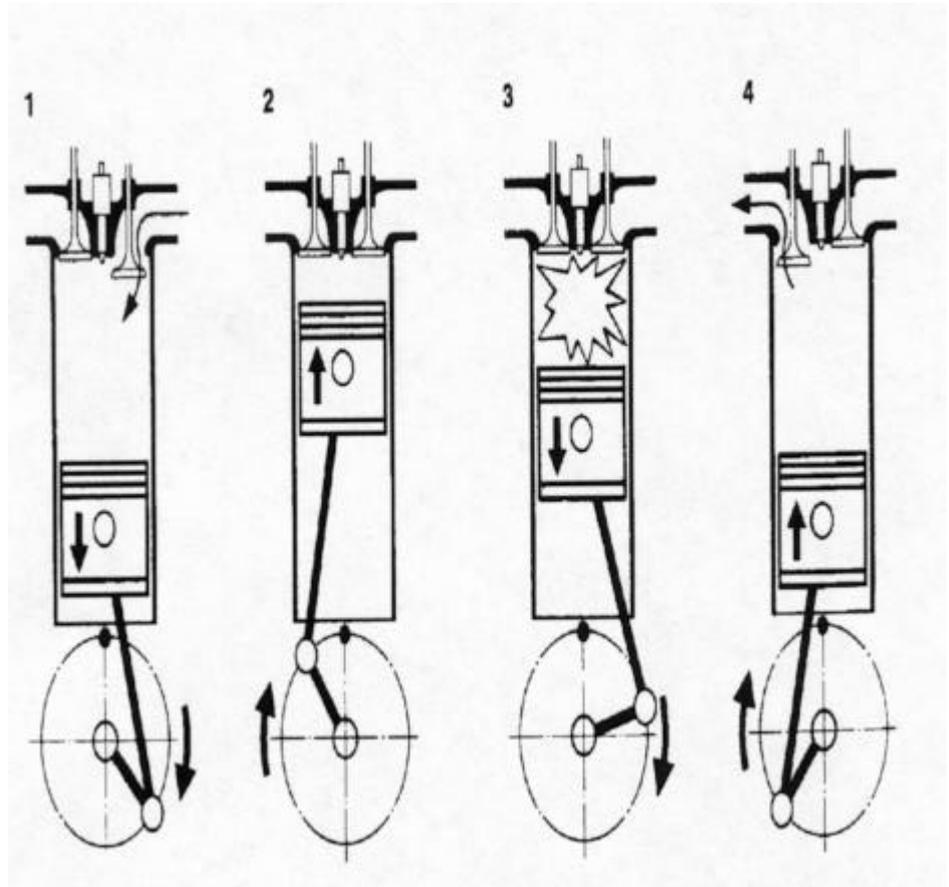


Abbildung 2.1: 4-Takt – Dieselmotor (aus [8])

Dieselmotoren sind bedingt durch das Verbrennungsverfahren in der Regel lauter als Ottomotoren. Eine andere Eigenheit ist der Partikelanteil im Dieselabgas. Dieser setzt sich vor allem aus Rußpartikeln und an diesen haftenden unverbrannten Kohlenwasserstoffen zusammen. (vgl. [10])

3. Dieselkraftstoff

3.1 Herstellung

Der Rohstoff zur Kraftstoffgewinnung ist das Erdöl, das nach der Förderung zu Raffinerien transportiert wird. In jeder Raffinerie gibt es drei Hauptprozessgruppen: Trennen, Umwandeln, Nachbehandeln.

?? Bei der Trennung durch Destillation wird das Erdöl in Produktgruppen mit verschiedenen Siedebereichen und damit unterschiedlichen Molekulargrößen aufgeteilt.

Da die erhöhte Nachfrage nach Kraftstoffen durch Destillation des Rohöls nicht gedeckt werden kann, wurden Crack-Verfahren zur Überführung von langkettigen in kurzkettige Kohlenwasserstoffe entwickelt.

?? Bei dieser Umwandlung, auch Konversion genannt, wird die Größe bzw. die Struktur der einzelnen Moleküle durch sog. Crackprozesse verändert. Man unterscheidet hier das einfache thermische Cracken durch Hitze, das katalytische Cracken durch Aluminiumsilikate oder Zeolithe sowie das Hydrocracken durch Wasserstoff und Nickeloxid/Wolframoxid oder Cobaltoxid/Wolframoxid, beide aufgetragen auf Zeolithe oder amorphe Aluminiumsilikate.

?? Bei der Nachbehandlung werden unerwünschte Produktbestandteile z. B. Schwefel entfernt. Dabei wird das Destillat zunächst mit Wasserstoff vermischt und erhitzt. Das heiße Gemisch gelangt in einen Reaktor. Dort verbindet sich über dem vorhandenen Katalysator bei einer Temperatur zwischen 300° und 400 °C der Schwefel mit dem Wasserstoff zu Schwefelwasserstoff. In der sogenannten Claus-Anlage wird der Schwefelwasserstoff zu elementarem Schwefel und Wasser verbrannt.

Die in Abb. 3.1 aufgeführte Übersicht skizziert den Verlauf der Erdölherstellung in einer Raffinerie:

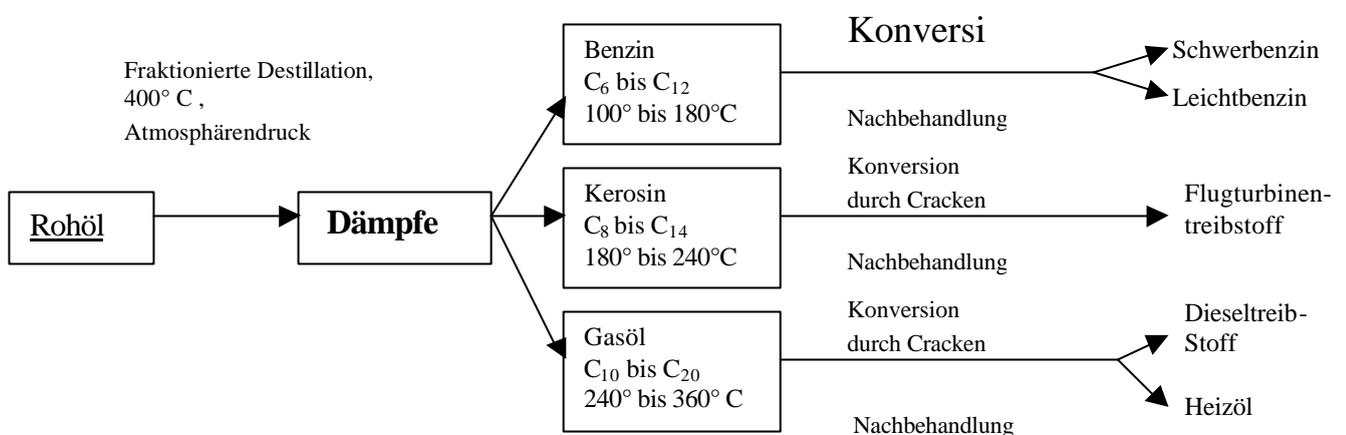


Abbildung 3.1: Ablauf der Kraftstoffgewinnung, vereinfacht (nach[7])

Man erhält durch die Prozesse in der Raffinerie unter anderem den Dieselkraftstoff, der durch die in Tabelle 3.1 aufgeführte Kohlenwasserstoffzusammensetzung

gekennzeichnet ist. Mit der „Dieselfraktion“ fällt auch eine Fraktion für den Ottomotor an, so dass ein ständiger Markt für beide Kraftstoffe vorhanden ist.

Tabelle 3.1: Zusammensetzung von Dieseldieselkraftstoff (nach [11])

<u>Kohlenwasserstoff</u>	Typische Anteile (in Gew.-%)
Summe Alkane (n- und i- Paraffine) ?? im Bereich C ₁₀ bis C ₂₅ ?? im Bereich > C ₂₅	40 bis 70 40 bis 70 max. 2
Summe Cykloalkane (Naphthene) ?? Monocyclische ?? Dicyclische ?? Tri- und Polycyclische	10 bis 30 max. 25 max. 10 max. 2
Summe Alkene (Olefine)	0,1 bis 5
<u>Summe Aromaten</u> ?? Summe Monoaromaten ?? Summe Diaromaten ?? Summe Tri- und Polyaromaten	max. 10 bis 30 max. 25 max. 10 max. 3

3.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften des Dieseldieselkraftstoffs

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften sind in Tab. 3.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.2: DIN-Kennwerte von Dieseldieselkraftstoff (nach[11])

Kennwert	Einheit	Anforderung nach DIN EN 590		Einfluß auf Fahrbetrieb
		min.	max.	
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	820	845	Verbrauch/Leistung
Cetanzahl (Zündwilligkeit)		51		Verbrennung/Startverhalten/Abgas- und Geräuschemission
Siedeverlauf Verdampfte Menge Bis 250 °C Bis 350 °C Bis 360 °C	Vol.-% Vol.-% Vol.-%	85	< 65 95	Abgas/Ablagerungs- Bildung
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s	2,0	4,5	Verdampfbarkeit/ Schmierung
Flammpunkt	°C	über 55		Sicherheit
Heizwert	MJ/l	35,6		Motorleistung
Grenzwert der Filtrierbarkeit (CFPP) 15.04.-30.09. 01.10.-15.11.- 01.03-14.04. 16.11-29.02.	°C °C °C °C		0 -10 -20	Betrieb bei niedrigen Temperaturen
Schwefelgehalt	mg/kg		350	Korrosion/Partikel- Emission
Koksrückstand	Gew.-%		0,30	Rückstände im Brennraum
Asche	Gew.-%		0,01	Rückstände im Brennraum
Wassergehalt	mg/kg		200	Korrosion/ Wachstum von Bakterien

Dichte

Da in Dieselmotoren die Kraftstoffmenge volumetrisch dosiert wird, kommt der Dichte eine große Bedeutung zu. Mit zunehmender Dichte steigt der Energiegehalt je Volumeneinheit. Bei gleichem Einspritzvolumen steigt mit zunehmender Dichte die dem Dieselmotor zugeführte Energie, wodurch der Motor mehr Leistung abgibt.

Zündwilligkeit

Bei Dieselmotoren gelangt der Kraftstoff vom Tank über die Förderpumpe und Filteranlage zur Einspritzpumpe und von dort über die Düse feinstverteilt in den mit verdichteter Luft gefüllten Brennraum, wo er entflammen soll. Dies erfolgt mit zeitlicher Verzögerung, dem Zündverzug. Dieser hängt wesentlich von der sog. Zündwilligkeit des Dieselmotors ab. Diese wird durch die Cetanzahl angegeben. Sie drückt aus, dass der Kraftstoff genauso zündwillig ist wie eine bestimmte Vergleichsmischung aus Cetan und α -Methylnaphthalin. Der zündwillige Mischungspartner ist Cetan, ein C_{16} n-Alkan, dem man die Cetanzahl 100 zugeordnet hat; α -Methylnaphthalin erhielt die Cetanzahl 0. Die Cetanzahl steigt mit der Kettenlänge und fällt mit der Zahl der Doppelbindungen. So bedeutet z. B. eine Cetanzahl von 55, dass der Kraftstoff genauso zündwillig ist wie eine Vergleichsmischung aus 55 Vol.-% Cetan und 45 Vol.-% α -Methylnaphthalin. Ist der Zündverzug zu hoch, z. B. durch eine zu niedrige Cetanzahl, verbrennt ein Großteil des eingespritzten Kraftstoffes schlagartig, der Gang des Motors wird härter und es tritt das dieseltypische „Nagelgeräusch“ auf.

Siedeverhalten

In Abbildung 3.2 ist der Siedeverlauf von Dieselmotorkraftstoff dargestellt.

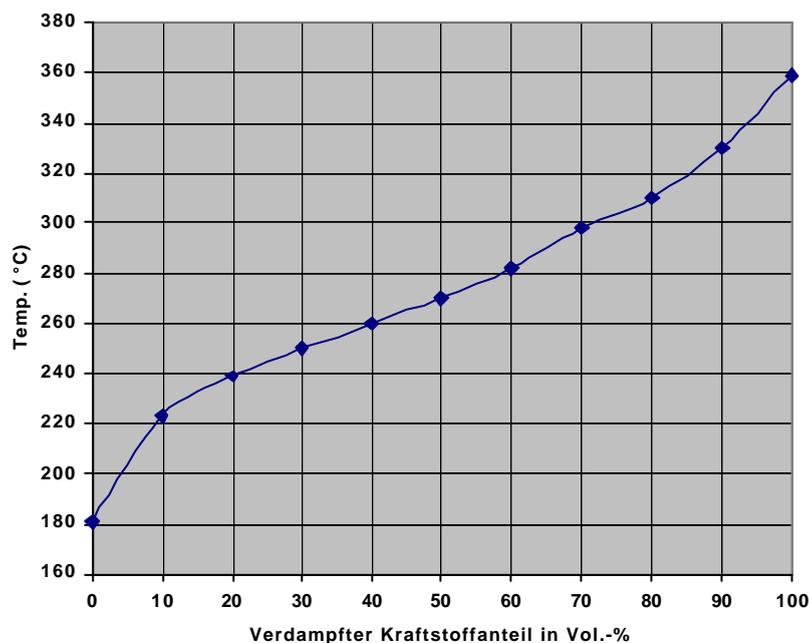


Abbildung 3.2: Siedeverlaufskurve von Dieselmotorkraftstoff (nach[11])

Diesem Siedeverhalten kommt beim Dieselkraftstoff nicht dieselbe Bedeutung zu wie beim Ottokraftstoff, da im Dieselmotor im Gegensatz zum Ottomotor die Aufbereitung des zündfähigen Gemisches praktisch direkt im Brennraum erfolgt. Für das Kaltstartverhalten ist eine gewisse Leichtflüchtigkeit von Vorteil. Ein überhöhter Anteil an „Leichtsiedern“ hat jedoch eine Verdampfung des Dieselkraftstoffes unmittelbar an der Einspritzdüse des Motors zur Folge, wodurch eine richtige Verteilung des Kraftstoffes im Verbrennungsraum nicht mehr gewährleistet ist. Ein zu großer Anteil an „Hochsiedern“, z. B. aromatische Verbindungen, bewirkt eine Vergrößerung der Tröpfchen im Einspritzstrahl. Der dadurch ausgelöste hohe Zündverzug bewirkt eine schlechtere Verbrennung, die sich unter anderem in verstärkter Rußneigung bemerkbar macht.

Viskosität

Die Viskosität, auch Zähigkeit oder innere Reibung genannt, muß in einer bestimmten Spanne liegen, um eine ausreichende Schmierung der gleitenden Teile der Einspritzelemente zu gewährleisten. Eine zu hohe Viskosität würde einen höheren Druck im Einspritzsystem erfordern und wegen steigender Tröpfchengröße im eingespritzten Kraftstoff eine schlechtere Gemischbildung im Brennraum bewirken. Folge wäre eine verschlechterte Kraftstoffausnutzung, d. h. geringere Leistung und Erhöhung der Rußemission im Abgas. Die Viskosität nimmt im allgemeinen mit steigender Dichte zu.

Flammpunkt

Zur Beurteilung der Feuergefährlichkeit und der daraus abzuleitenden Sicherheitsmaßnahmen im Lager- und Verteilungssystem ist der Flammpunkt von Dieselkraftstoff von Bedeutung. Der Flammpunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der eine Flüssigkeit unter bestimmten Versuchsbedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickelt, dass diese im Gemisch mit Luft durch eine Zündquelle zur Entzündung gebracht werden können. Die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten definiert folgende Gefahrklassen: (vgl. [7])

A : nicht mit Wasser mischbare Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von:

A I: < 21° C

A II: 21° C- 55° C

A III: > 55° C

Da Dieselkraftstoffe der Gefahrklasse A III zugeordnet sind, müssen sie einen Flammpunkt von über 55° C aufweisen. Schon geringe Vermischungen mit Ottokraftstoffen, wie sie z. B. durch mangelnde Restentleerung der Tankwagen bei wechselweiser Ausfuhr von Otto- und Dieselkraftstoff entstehen können, führen zu Unterschreitungen dieses Grenzwertes.

Grenzwert der Filtrierbarkeit

Dieselmotoren haben bei abnehmenden Temperaturen die unerwünschte Eigenschaft, Kristalle zu bilden. Diese beeinträchtigen die Pumpfähigkeit des Kraftstoffes und können Filter verstopfen. Deshalb bestimmen Kraftstoffanbieter nicht nur die in der Norm festgelegte Filtrierbarkeitsgrenze (CFPP=cold filter plugging point), sondern weitere Kennwerte, wie z.B.

den sichtbaren Beginn der Paraffinausscheidung (cloud point=CP). (vgl. [11]) Additive, sog. Fließverbesserer, können die Größe der Kristalle von typischerweise 0,25 mm auf rund 0,03 mm verringern. (vgl. Abschnitt 3.3)

Schwefelgehalt

Der aus dem Erdöl stammende Schwefelanteil im Dieseldieselkraftstoff wird bei der Verbrennung in Schwefeldioxid und schweflige Säure/Sulfate umgewandelt. Dies wirkt sich ungünstig auf Korrosionen sowie die Abgasemissionen aus. Während der Dieseldieselkraftstoff-Beitrag zur gesamten Schwefeldioxid-Emission durch Entschwefelungsmaßnahmen nicht mehr als Problem gesehen wird, steht derzeit der Einfluß des Schwefels auf die als Partikel definierten Abgasbestandteile im Vordergrund. Als Partikel werden hier die gebildeten Sulfate und das daran angelagerte Wasser verstanden.

Koksrückstand

Im Brennraum gibt es teilweise Stellen, an denen die Sauerstoffversorgung für eine vollständige Verbrennung nicht ausreicht. Es entstehen Koksrückstände, die Ablagerungen bilden können und damit die Funktionsweise, vor allem die annähernd reibungsfreie Beweglichkeit des Kolbens im Zylinders, negativ beeinflussen können.

Aschegehalt

Auch bei einer Verbrennung mit genügend Sauerstoff bleibt ein Ascheanteil übrig, der ebenso Ablagerungen bedingen kann.

Wassergehalt

Wasser im Motorraum wirkt korrosiv und kann im schlimmsten Fall ein Rosten der Teile verursachen. Besonders problematisch ist dies vor allem für die gleitenden Teile.

3.3 Verbesserung der Kraftstoffeigenschaften durch Additive

An Kraftstoffe werden hohe Anforderungen gestellt, um ständig einen problemlosen Betrieb zu gewährleisten. Damit die Kraftstoffhersteller eine ständig gleiche Qualität garantieren können, werden dem Dieseldieselkraftstoff im Normalfall bis zu 13 sogenannte Additive, also Zusatz- oder Hilfsstoffe, beigemischt. Eine Zusammenstellung findet sich in Tabelle 3.3 .

Tabelle 3.3: Additive für Dieseldieselkraftstoffe, Auswahl (nach [7])

<u>Typ</u>	<u>Funktion</u>
1. Zündbeschleuniger	Erhöhung der Cetanzahl
2. Oxidationsinhibitor	Verbesserung der Lagerstabilität
3. Anti-Smoke	vollständigere Verbrennung von Kohlenstoffpartikeln durch Katalysator
4. Korrosionsschutz	schützt gegen Korrosion im Kraftstoffsystem
5. Detergent/Dispersant	Verminderung von Ablagerung im Einspritzsystem
6. Leitfähigkeitsverbesserer	Verhinderung von elektrost. Aufladungen
7. Metalldeaktivatoren	Deaktivierung von Cu-Ionen, die als Oxidationskatalysatoren wirken
8. Fließverbesserer	Verbesserung der Kältefestigkeit
9. Aromastoffe	sollen spezifischen Dieselgeruch überdecken
10. Biozide	Vermeidung von Bakterienwachstum
11. Verschleißschutz	Schmierung der Kraftstoffpumpen und der gleitenden Teile

4. Rapsöl als Treibstoff

4.1 Gewinnung von Rapsöl

Abbildung 4.1 zeigt schematisch den Ablauf der Rapsölgewinnung.

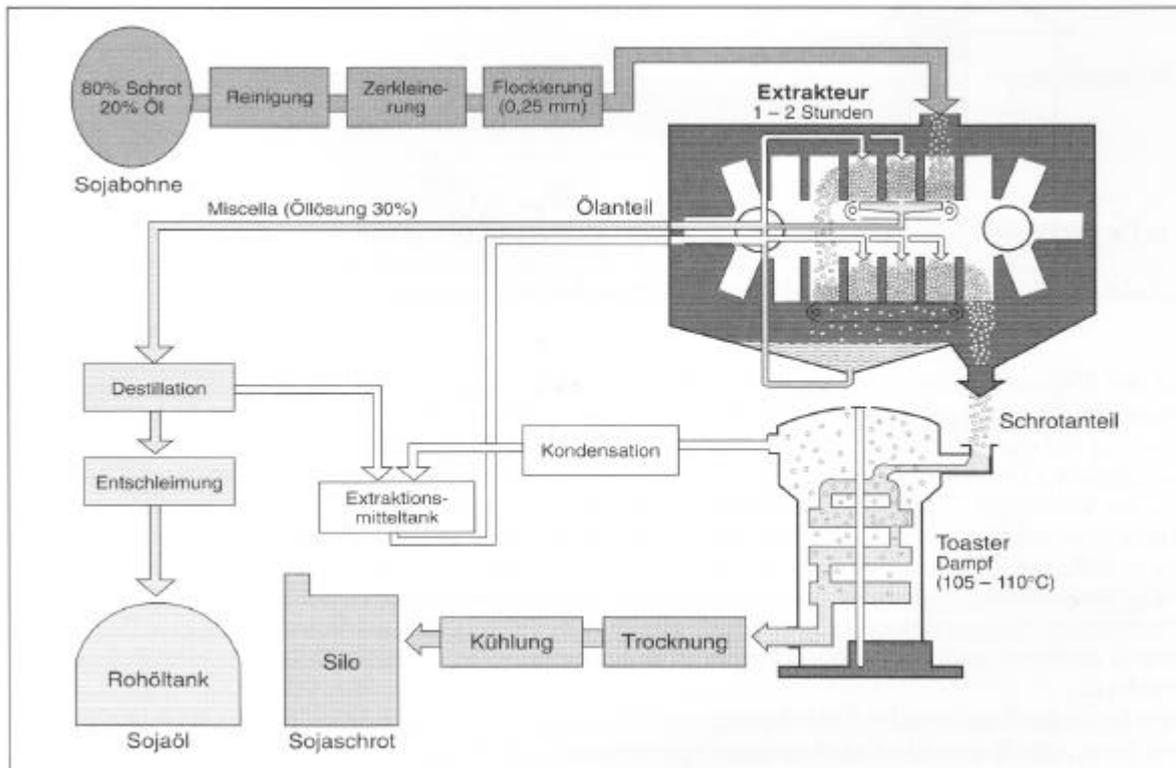


Abbildung 4.1: Gewinnung von Rapsöl (schematisch gemäß [4])

Der erste Schritt besteht aus einer Reinigung ohne Windsichter, d. h. rotierende Siebtrommeln, bei denen gegen die frei herabfallenden Samen ein Luftstrom geführt wird. Bei Bedarf wird die Ölsaat auch in besonderen Bürstmaschinen gereinigt.

Nach der Reinigung erfolgt die Zerkleinerung. Dabei ist die Mahlweise entscheidend. Die Ölzellen sollen möglichst vollständig geöffnet werden; sie sollen dabei aber noch ihre Struktur behalten, um in der Presse noch eine genügende Porosität und Öldurchlässigkeit zu besitzen. Wird nach dem Pressen noch zusätzlich mit einem Lösungsmittel extrahiert, wie das beim Raps der Fall ist, muß das zerkleinerte Material gut durchlässig sein und darf sich nicht fest zusammenballen.(vgl. [4])

- ?? Konditionierung: Zunächst wird die zerkleinerte Saat mit Wasserdampf vorbehandelt. Dadurch zerreißen noch intakt gebliebene Zellen. Die Enzyme werden inaktiviert, das im Gewebe eingeschlossene Öl wird dünnflüssiger, vereinigt sich leichter zu Tropfen und läuft rascher ab. Durch den feuchten Wasserdampf verliert das Samengewebe viel von seiner fettsaugenden Wirkung, so dass die Ausbeute höher ausfällt.
- ?? Pressung: Die Hauptmenge des Öls wird anschließend mit Schneckenpressen, die kontinuierlich arbeiten, abgepresst. Im Pressrückstand verbliebenes Öl wird extrahiert.

?? Extraktion: Der Ölkuchen gelangt in den Extrakteur, in dem ihm in einem Zeitraum von 1 bis 2 Stunden das noch enthaltene Öl durch Extraktion mit Hexan entzogen wird. Die Abtrennung des Lösungsmittel vom Rohöl erfolgt durch Vakuumdestillation; maximal verbleibt ein Rest von 0,1%. Der vom Extrakt abgetrennte Rückstand, das Extraktionsschrot, wird im sog. Toaster mit überhitztem Wasserdampf behandelt. Dabei werden dem Schrot noch vorhandene Lösungsmittelreste entzogen.

Anschließend wird das Rapsschrot getrocknet und gekühlt, in Silos gelagert und dann der Tierfuttermittelverwertung als proteinreiches Futtermittel zugeführt.

4.2 Pflanzenöle für den Motorbetrieb: Problematik durch Fettbegleitstoffe

Pflanzenöle enthalten wechselnde Menge an Begleitstoffen (vgl. Tab. 4.1):

- ?? Pflanzenschleime
- ?? Phospholipide
- ?? Freie Fettsäuren
- ?? Farb- und Geruchsstoffe

Diese Substanzen führen zu Ablagerungen im Tank und verstopfen das Kraftstofffördersystem. Freie Fettsäuren senken den Flammpunkt und sind korrosiv gegenüber Eisen. Farb- und Geruchsstoffe verursachen Ablagerungen an den Düsen und im Brennraum. Die erforderlichen Schritte der Raffination sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Eigenschaften und Reinigungsschritte von in Rapsöl enthaltenen Fettbegleitstoffen (nach [12])

Fettbegleitstoffe	Anteil am Rapsöl (in %)	Technische <u>Eigenschaften</u>	Reinigungs-Vorgang	Reinigungs-Schritt
Ungelöste, suspendierte Bestandteile	0,3-0,5	Verstopfen von Filtern, Leitungen	Mechanische Filterung	Filterung
Harz-und Schleimkörper, Proteine, Phosphatide	0,1-2	Verstopfen von Leitungen, Pumpen, Düsen	Zugabe von Phosphorsäuren, sauren Alkaliphosphaten	Entschleimung
Freie Fettsäuren	0,3-22	Senkung des Flammpunktes, korrosiv gegenüber Eisen	Neutralisation über Laugenzusatz	Entsäuerung
Farbstoffe	0,1	Ablagerung an Düsen und im Brennraum	Zugabe von Adsorptionsmitteln	Bleichung
Geruchsstoffe	0,1	Ablagerung an Düsen und im Brennraum	Destillation	Desodorierung

4.3 Reinigungsschritte

Vorreinigung

Die Lecithine sind ursprünglich im Öl gelöst, Kohlenhydrate und Proteine als Schleim fein verteilt. Durch den Zusatz von Alkaliphosphaten quellen Lecithine und Kohlenhydrate auf. Proteine werden durch den Zusatz von wenig Phosphorsäure ausgefällt. Das so behandelte Öl wird einige Zeit gelagert; hierbei setzt sich ein Ölschlamm ab. Dieser wird durch Zentrifugieren abgetrennt.

Entsäuerung

Die Extraktion der freien Fettsäuren mit etwa 15%iger Natronlauge ist die am häufigsten angewandte Methode. Verfahrenstechnisch ist dieser Schritt nicht ganz unproblematisch, da Hydrolyse der Fette vermieden werden muß und die entstehenden Natronseifen, der sog. Seifenstock, beim Auswaschen mit heißem Wasser sehr stabile Emulsionen bildet. Die Extraktion wird heute meist in kontinuierlich arbeitenden, mehrstufigen Zentrifugenanlagen durchgeführt.

Bleichen

Mit festen Adsorptionsmitteln wie Aluminiumsilikaten, den sog. Fullererden und/oder Aktivkohle als Entfärbungskohle, lassen die Öle sich entfärben.

Dämpfen

Unter Dämpfen versteht man eine im Vakuum durchgeführte Wasserdampfdestillation bei $0,01 \times 10^5$ Pascal (10 mbar) und $190-250^\circ$ C. Hierdurch werden unerwünschte Aromastoffe abgetrennt. (vgl. [4])

Nach diesen Reinigungsschritten erhält man ein klares, gelblich gefärbtes und nahezu geruchfreies Öl. Hauptbestandteile sind vor allem Öl-, Linol- und Linolensäure. Erucasäure ist im 00-Raps durch Züchtung neuer Sorte praktisch fast nicht mehr vorhanden. (vgl. Tabelle 4.2)

Tabelle 4.2: Mittlere Fettsäurezusammensetzung (Gew.-%) von Rapsöl (nach [13])

Fettsäuren	Rapsöl alt	Rapsöl neu (00-Raps)
C ₁₆ Palmitinsäure	1,9-2,8	1,0-5,0
C ₁₈ Stearinsäure	1,0-3,5	1,0-4,0
C ₂₀ Arachinsäure	0,6-1,8	0,0-1,0
C ₂₂ Behensäure	0,6-2,1	0,5-2,0
C ₂₄ Lignocerinsäure	0,5-0,8	-
C_{18:1} Ölsäure	12,3-24,0	50,0-65,0
C_{18:2} Linolsäure	12,0-15,8	15,0-30,0
C_{18:3} Linolensäure	6,5-9,9	5,0-13,0
C _{20:1} Eicosensäure	3,5-6,0	1,0-3,1
C_{22:1} Erucasäure	45,0-52,5	0,0-2,1

4. 4 Physikalisch-chemische

Eigenschaften von raffiniertem Rapsöl

Für den Motoreinsatz haben die speziellen Fettsäuremuster keine wesentliche Bedeutung. Zu beachten ist allerdings, dass der Anteil an Doppelbindungen nicht zu hoch ist, da es sonst durch die Hitze im Motor zu Polymerisationsreaktionen und Verharzungen kommen kann. Aus diesem Grund ist auch Leinöl aufgrund seines hohen Linolensäuregehaltes nicht für eine Verwendung als Treibstoff geeignet. Rapsöl weicht von den technischen Eigenschaften des Dieselkraftstoffes in mehreren Punkten ab. Eine Gegenüberstellung von Rapsöl mit der DIN EN 590 für Dieselkraftstoff verdeutlicht folgende Zusammenhänge. (vgl. Tab. 4.3)

Tabelle 4.3: Grenzwerte von Rapsöl im Vergleich zu Dieselkraftstoff (nach [14,15,16])

Kennwert	Einheit	Grenzwerte Rapsöl		Dieselkraftstoff DIN EN 590	
		min.	max.	min.	max.
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	900	930	820	845
Cetanzahl		42		51	
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s		38	2	4,5
Flammpunkt	°C	220		Über 55	
Heizwert	MJ/l	35,8		35,6	
Grenzwert der Filtrierbarkeit	°C	+10		-20	
Schwefelgehalt	mg/kg		20		350
Koksrückstand	Gew.-%		0,4		0,3
Asche	Gew.-%		0,01		0,01
Wassergehalt	Gew.-%		0,08		0,02
Iodzahl	g/100g	100	120		
Gesamtverschmutzung	mg/kg		25		
Neutralisationszahl	mg KOH/g		2,0		
Phosphorgehalt	mg/kg		15		

Dichte

Rapsöl weist eine höhere Dichte als Dieselkraftstoff auf. Aufgrund der volumetrischen Dosierung des Kraftstoffes könnte man meinen, dass hier ein höherer Energiegehalt je Volumeneinheit vorliegt. Da aber im Rapsöl durchschnittlich 11 Gew.% Sauerstoff im Molekül vorliegen, verringert sich der Anteil an den brennbaren Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff.

Cetanzahl

Die geringere Cetanzahl bewirkt eine geringere Zündwilligkeit des Rapsöls. Dadurch kommt es zu einem ungleichmäßigen Laufverhalten des Motors und die Geräuschemission erhöht sich deutlich. Schwankungen der Cetanzahl erweisen sich auch für die Feineinstellung des Motors als problematisch.

Viskosität

Die Viskosität von Rapsöl ist gegenüber Dieselmotoren um ein Mehrfaches höher und verursacht hierdurch eine schlechtere Zerstäubung und Verbrennung im Brennraum. Durch die daraus resultierende schlechtere Verbrennung treten Rußablagerungen im Motor auf, verbunden mit einer erhöhten Partikelemission.

Flammpunkt

Rapsöl ist schwer entflammbar. Es ist daher auch keiner Gefahrenklasse zugeordnet, wodurch sich die Handhabung beim Transport und bei der Lagerung wesentlich vereinfacht.

Grenzwert der Filtrierbarkeit

Der niedrige Grenzwert der Filtrierbarkeit ist für das schlechte Kälteverhalten von naturbelassenen Pflanzenöl kennzeichnend. Dies führt zu erheblichen Problemen in der kälteren Jahreszeit, da es sehr leicht zu Verstopfungen der Kraftstoffleitungen und vor allem der Kraftstofffilter kommen kann. Probleme gibt es auch beim Kaltstart im Winter, da leichtflüchtige Verbindungen, die beim Dieselmotoren den Kaltstart erleichtern, praktisch nicht vorhanden sind.

Schwefelgehalt

Rapsöl ist fast schwefelfrei. Dies wirkt sich günstig auf die SO₂-Emission aus.

Koksrückstand

Ebenso wie beim Dieselmotoren treten bei der Verbrennung ohne Sauerstoff Rückstände auf, die zu Ablagerungen und Einschränkungen der Funktionstüchtigkeit des Motors führen können.

Asche

Auch Ascherückstände können zu Ablagerungen und Rückständen führen; im Normalfall stellt dies aber kein Problem dar.

Wassergehalt

Der Grenzwert des Wassergehaltes von max. 1000 ppm ist wegen der Korrosionswirkungen umstritten. Von den Initiatoren wird seine Zulässigkeit damit begründet, dass der Motor beim Elsbett-Motor (s. Abschnitt 4.7) mit Dieselmotoren gestartet und wieder abgestellt wird, so dass das Kraftstoffsystem im Ruhezustand mit Dieselmotoren gefüllt ist und zusätzliche Korrosionsrisiken vermieden werden.

Iodzahl

Doppelbindungen sind oxidationslabil und thermisch instabil. Dies kann zu Problemen am Einspritzsystem führen, da es zu Polymerisationsreaktionen und Verharzungen kommen kann. Dadurch entstehen Ablagerungen.

Gesamtverschmutzung

Ein zu hoher Anteil an Verschmutzungen kann zu Ablagerungen und Verstopfungen von Leitungen, Filtern und Düsen führen.

Neutralisationszahl

Freie Fettsäuren senken den Flammpunkt, was zu sicherheitstechnischen Problemen bei Lagerung und Transport führen kann. Außerdem wirken freie Fettsäuren im Motorraum korrosiv.

Phosphorgehalt

Die bei der Verbrennung entstehenden Phosphoroxide bilden sehr schwer zu entfernende Ablagerungen am Zylinder, wodurch die Funktionstüchtigkeit des Motor eingeschränkt wird.

Siedeverlauf:

Durch die Vorgabe von Siedegrenzen kann aus dem Rohöl ein gewünschter Fraktionsbereich mit eng begrenzten Eigenschaften definiert werden. Die Siedeverlaufskurve von Rapsöl liegt bis zu 100° C über der von Dieselkraftstoff. Der Siedebeginn von Rapsöl liegt 50 bis 80° C über dem von Dieselkraftstoff mit 150 bis 200° C. Abbildung 4.2 skizziert den Siedeverlauf von Rapsöl im Vergleich zu Dieselkraftstoff.

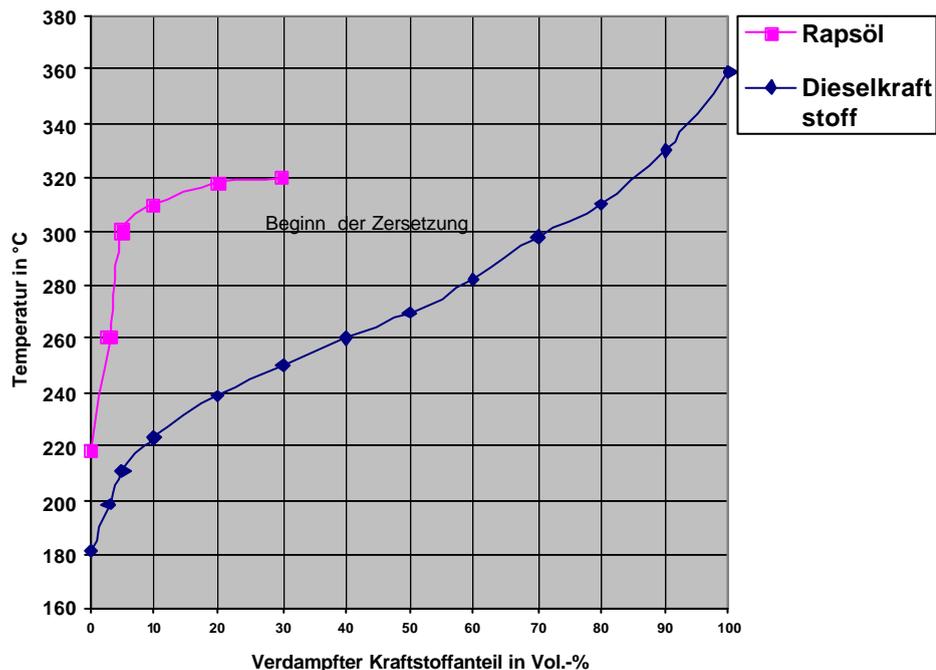


Abbildung 4.2 : Siedeverlaufskurve von Rapsöl und Dieselkraftstoff (nach [14])

Während beim fossilen Dieselkraftstoff die Destillationskurve wegen der unterschiedlichen Kettenlängen fast linear bis etwa 360° C ansteigt, ergibt sich ein sehr steiler Anstieg bis 20 Vol.-% und ab 320° C ein sehr flacher Verlauf beim Rapsöl. Der größte des pflanzlichen Öls verdampft demnach erst bei hohen Temperaturen, was durch die hohe Masse der Triglyceride bedingt ist.

4.5 Verwendung von Rapsöl als Kraftstoff: Probleme

Die Möglichkeit, Pflanzenöle als Kraftstoffe für Dieselmotoren einzusetzen, ist seit langem bekannt. Bereits im Jahre 1900 wurde auf der Weltausstellung in Paris ein mit Erdnussöl betriebener Dieselmotor von Rudolf Diesel vorgestellt. Für Deutschland kommen aufgrund der klimatischen Gegebenheiten praktisch nur Rapsöl und Sonnenblumenöl in Betracht. (vgl. [17])

Naturbelassenes Pflanzenöl ist aus mehreren Gründen für eine direkte Verwendung in konventionellen Dieselmotoren nicht geeignet:

- ?? Die strukturbedingt hohe Viskosität von Pflanzenölen im Vergleich zu Dieselkraftstoff ist als besonders nachteilig anzusehen. Hierdurch werden die Pumpfähigkeit in der Einspritzpumpe, die Zerstäubungsqualität während des Einspritzvorgangs und damit der Brennverlauf erheblich verschlechtert. Kraftstofffilter setzen sich innerhalb kurzer Zeit mit nicht vollständig entfernbaren Schleimstoffen zu, durch unvollständig verbrannte Gemischteile kann es letztendlich zum Motorausfall kommen. (vgl. [14])
- ?? Für den Kaltstart und die Warmlaufphase sind wegen der bei niedrigen Motortemperaturen noch unzureichenden Aufbereitung des Rapsöles Zusatzeinrichtungen erforderlich, wie z. B. die Beheizung von Kraftstofftank und -filter oder ein zweiter Kraftstoffvorrat aus herkömmlichen Dieselkraftstoff zum Starten und warm laufen lassen des Motors.
- ?? Naturbelassenes Pflanzenöl ist ein geeigneter Nährboden für Pilze, die sich im gesamten Kraftstoffsystem verbreiten und im Langzeitbetrieb zu Motorstörungen, verminderter Motorleistung, Kraftstoff-Mehrverbrauch und schließlich zu schweren Motorschäden führen können.
- ?? Die in einem herkömmlichen Dieselmotor erzielbaren Verbrennungstemperaturen von ca. 600-900 °C reichen beim heutigen Optimierungsstand für den Betrieb mit Pflanzenöl wegen der hohen Viskosität nicht aus. Die Folge durch nicht verdampften Kraftstoff sind Verkokungen an Einspritzdüsen und Kolbenringen, die schon nach relativ kurzer Betriebsdauer zum Motorausfall führen. Benötigt wird folglich eine höhere Verbrennungstemperatur.

4.6 Notwendige Umrüstungen für den Rapsölbetrieb

Für den direkten Einsatz von raffiniertem Rapsöl sind besondere Motoren erforderlich. Ein Anbieter dieser speziellen Motoren ist die Firma Elsbett. (vgl. [18])

Der Rapsöleinsatz erfordert folgende Anpassungen:

- ?? Eine mit Diesel betriebene, zusätzliche Startautomatik zur Umgehung von Anlaufschwierigkeiten
- ?? Eine Beheizung der Rapsölleitungen und des Rapsöltanks zur Gewährleistung eines störungsfreien Betriebs, vor allem beim Kaltstart und in der Warmlaufphase im Winter
- ?? Eine Verdoppelung des Motorölvolumens oder die Halbierung der Ölwechselabstände zur Vermeidung von schädlichen Verdünnungen des Motoröls. Vor allem beim Betrieb mit niedrigen Drehzahlen kann unverbranntes Rapsöl in das Motoröl gelangen und dieses verdünnen, wodurch die Schmiereigenschaften des Motoröls mit der Zeit verloren gehen.

4.7 Elsbett – Motor

Der von Elsbett 1984 entwickelte Elsbett-Motor läuft problemlos mit Pflanzenöl; allerdings wird dieser Motor nicht in Serie produziert, wodurch die Umrüstung alter Motoren sich zu einer kostspieligen Angelegenheit entwickelt.

Bei diesem Umbau wird eine große Anzahl von Motorteilen und Leitungen ausgetauscht, der ganze Umbau dauert knapp eine Woche. Die wichtigsten Umbaumaßnahmen sollen kurz dargestellt werden:

- ?? Der sonst an der Oberseite flache Kolben wird durch einen Kolben ersetzt, der eine kugelförmige Brennraummulde in der Mitte des Kolbenoberteils besitzt. Die Kugelform besitzt den Vorteil, dass ein großes Volumen bei möglichst kleiner Oberfläche entsteht. Dadurch wird die lokal erforderliche höhere Verbrennungstemperatur entwickelt und vermieden, dass zuviel Wärme an den Motorkörper abgegeben wird. So entsteht ein heißes Verbrennungszentrum mit einem kalten Mantel im Zylinder, das sogenannte Duotherm-Brennverfahren. (vgl. [14])
- ?? Als Kolbenmaterial dient Eisen anstelle von Aluminium, um durch höhere Temperaturen einen besseren Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Dieselmotoren zu erzielen. Der Kolben selbst wird mit seiner geringeren Wärmeleitfähigkeit nur wenig erhitzt.
- ?? Elsbett-Motoren sind lediglich mit einem Ölkühler ausgerüstet. Der Verzicht auf Wasser- oder Luftkühlung lässt höhere Motorbetriebstemperaturen zu, die für die möglichst vollständige Verbrennung der Triglyceride benötigt werden.
- ?? Bei niedrigen Außentemperaturen muß für das Starten und Fahren naturbelassenes Rapsöl durch eine elektrische Heizquelle vorgewärmt oder Dieselmotorenstoff als

Starthilfe eingesetzt werden. Dies erfordert zwei voneinander unabhängige Kraftstoffsysteme.

Die Umrüstung erfolgt innerhalb von einer Woche und kostet ab 3.900 DM (1994 Euro) zzgl. MWSt. Dabei entfallen auf die Arbeitszeit die Hälfte der Kosten, der Rest entfällt auf die ausgetauschten Teile.

Tabelle 4.4 : Umrüstpreise auf Rapsölbetrieb durch die Firma Elsbett-Motoren (vgl. [18])

Modell	Typ	Motor	Einspritz-Anlage	Hubraum	Leistung	ab Baujahr	Preis in DM(Euro)
AUDI	80	AAZ	Bosch	1900ccm	55 kW	Sep. 91	4850(2430)
BMW	318Tds	M41D18	Bosch	1800ccm	66 kW	Sep. 94	4850(2430)
BMW	525Tds	M51D25	Bosch	2500ccm	105 kW	Mai 93	6480(3313)
FIAT	Scudo	XUD 9	Bosch	1900ccm	66 kW	Mrz. 96	4850(2430)
FORD	Escort	EURO 2	Bosch	1800ccm	66 kW	Mrz. 96	5650(2889)
Mercedes	300D	603	Bosch	2996ccm	83 kW	Jan. 89	5550(2838)
Mercedes	Vito D	601	Bosch	2299ccm	58 kW	Jan. 96	6050(3093)
Peugeot	406	XUD 9	Bosch	1900ccm	68 kW	Okt. 95	4850(2430)
VW	Golf III	AAZ	Bosch	1900ccm	55 kW	Jan. 93	4850(2430)

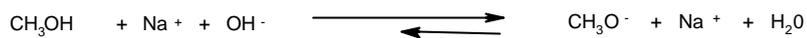
5. Biodiesel

Möchte man nun nicht seinen Motor dem Kraftstoff anpassen, dann kann man durch eine einfache chemische Reaktion, d. h. Umesterung von Rapsöl mit Methanol, das Rapsöl an den Motor anpassen

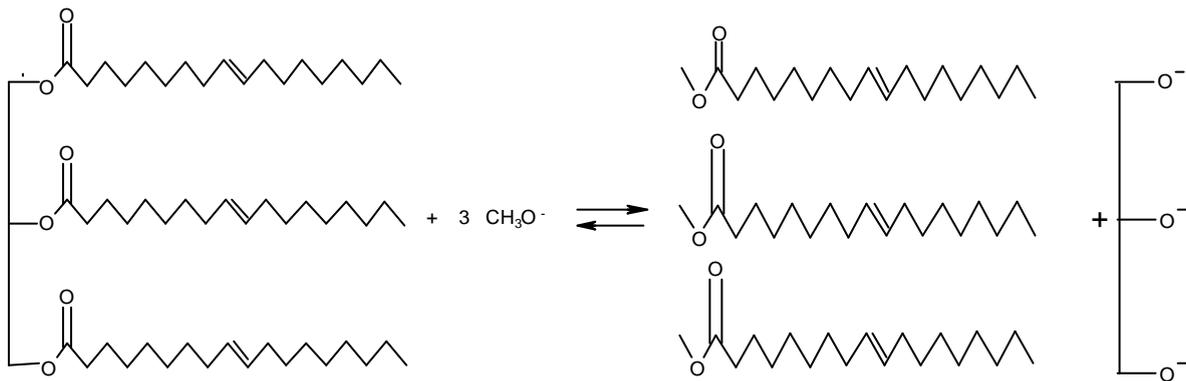
5.1 Herstellung

5.1.1 Chemischer Reaktionsablauf

Erzeugung von Methanolat-Ionen durch katalytische Mengen an Natriumhydroxid



Angriff des Methanolats am Triglycerid, Entstehung von Glycerolat und Fettsäuremethylester (am Beispiel des Trioleins)



Rückreaktion des Glycerolats zu Glycerin

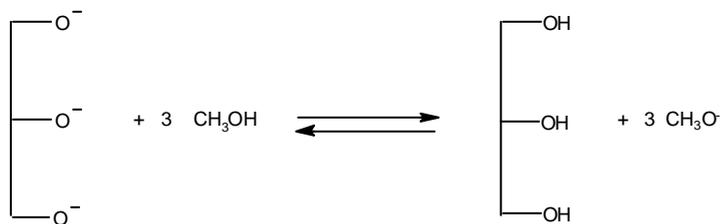


Abbildung 5.1 : Reaktionsmechanismus der Umesterung (nach [20])

5.1.2 Produktionsschema zur Herstellung von 1000 kg Rapsölmethylester

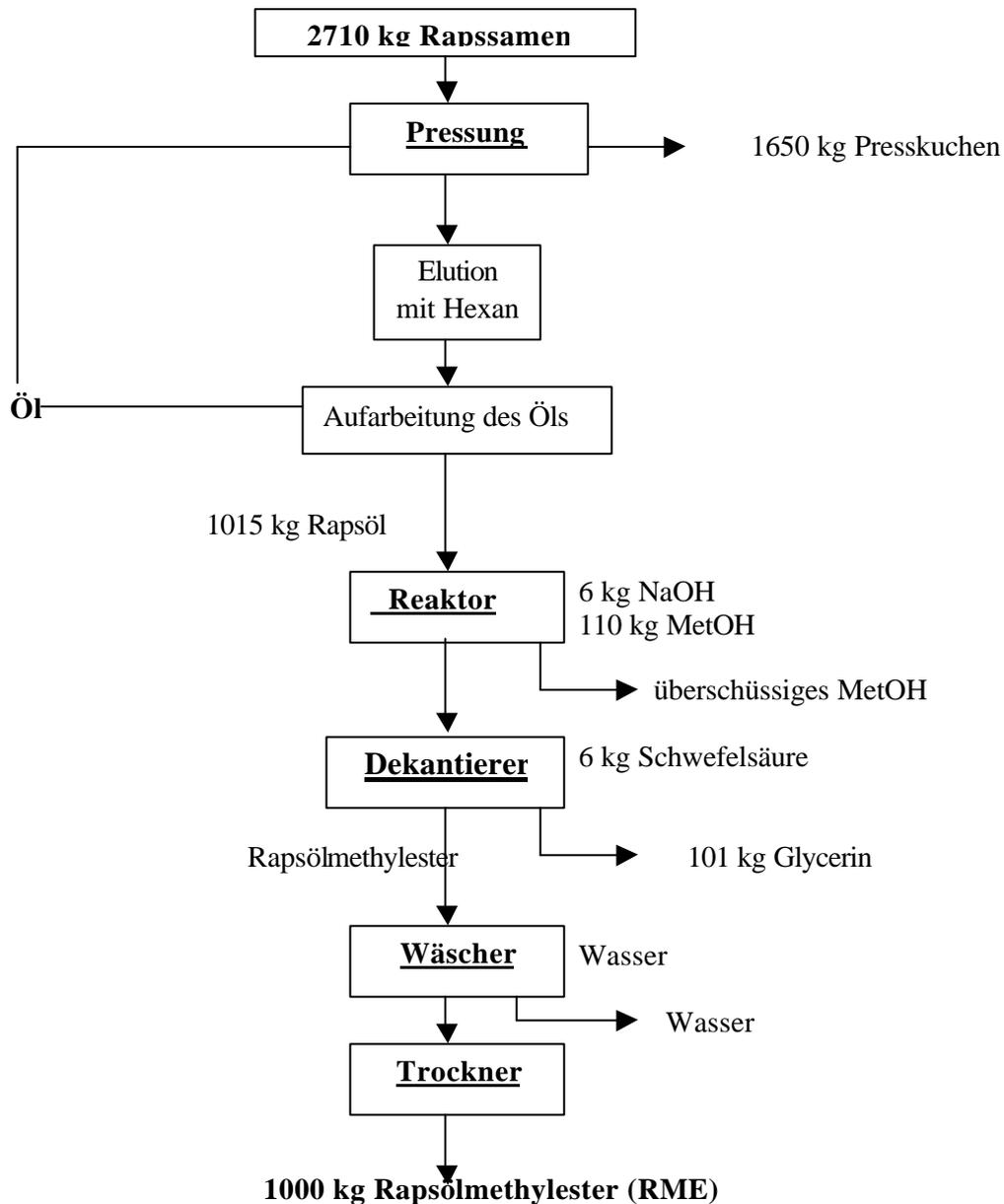


Abbildung 5.2 : Produktionsschema zur Herstellung von 1 Tonne Biodiesel (nach [20])

Vor der Produktion von Biodiesel steht die Gewinnung des Rapsöles aus den Rapssamen. Die Samen werden zunächst ausgepresst und das verbliebene Öl aus dem Preßkuchen anschließend mit n-Hexan extrahiert. Aus 2710 kg Rapssamen erhält man auf diesen Weg 1015 kg Rapsöl. Aus den 1015 kg Rapsöl können durch die Umesterung mit Methanol 1000 kg Biodiesel hergestellt werden. Eingesetzt werden zur Produktion dieser Menge neben dem Rapsöl 110 kg Methanol im Überschuß und 6 kg Natriumhydroxid bzw. Kaliumhydroxid als Katalysator

Das Gemisch wird im Reaktor bei ca. 70° C zur Reaktion gebracht und circa eine halbe Stunde gerührt. Anschließend wird überschüssiges Methanol durch Destillation abgetrennt und das Reaktionsgemisch in den Dekantier überführt, wo mit ca. 6 kg. Schwefelsäure Reste

vom Katalysator neutralisiert und freie, nicht veresterte Fettsäuren protoniert werden. Durch diese Neutralisation in Gegenwart von Wasser trennt sich die organische Phase, die in erster Linie aus Rapsölmethylester besteht, von der wässrigen Phase, in der das Glycerin gelöst ist. Das Gemisch aus Wasser und Glycerin wird durch Dekantieren (etwa 3 h) abgetrennt. Aus der wässrigen Phase wird später Glycerin durch Eindampfen gewonnen, das in erster Linie Verwendung in der kosmetischen Industrie findet.

Der Rapsölmethylester wird nun im Wäscher mehrfach mit Wasser ausgewaschen, wobei verbliebenes Methanol, Schwefelsäure, Reste des Katalysators und Glycerin entfernt werden. Anschließend wird der Rapsölmethylester von Restanteilen an Wasser durch Destillation befreit, und man erhält als Produkt 1000 kg Biodiesel. (vgl. [20])

5.2 Physikalisch-chemische Eigenschaften von Biodiesel

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Biodiesel sind (im Vergleich zum traditionellen Dieselkraftstoff) in Tab. 5.1 zusammengestellt.

Tab. 5.1: Vergleich der Kenndaten von Rapsöl, Biodiesel und Dieselkraftstoff (nach [14,15,20])

Kennwert	Einheit	Grenzwert Rapsöl		Rapsölmethylester DIN 51606		Dieselkraftstoff DIN EN 590	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.
Dichte bei 15 °C	kg/m ³	900	930	875	900	820	845
Cetanzahl		42		49		51	
Viskosität bei 40 °C	mm ² /s		38	3,5	5,0	2,0	4,5
Flammpunkt	°C	220		110		über 55	
Heizwert	MJ/l	35,8		35,2		35,6	
CFPP	°C	+10		-10		0	
Schwefelgehalt	mg/kg		20		10		350
Koksrückstand	Gew.-%		0,4		0,05		0,3
Asche	Gew.-%		0,01		0,03		0,01
Wassergehalt	mg/kg		800		300		200
Neutralisationszahl	mg KOH/g		2,0		0,5		
Iodzahl	g/100g	100	120		115		
Phosphorgehalt	mg/kg		15		10		
Methanolgehalt	Gew.-%				0,3		
Monoglyceride	Gew.-%				0,8		
Diglyceride	Gew.-%				0,4		
Triglyceride	Gew.-%				0,4		
Freies Glycerin	Gew.-%				0,02		
Alkaligehalt Na+K	mg/kg				5		

Dichte

Da im Dieselmotor die Einspritzung volumetrisch dosiert wird, kommt der Dichte große Bedeutung zu. Die Dichte von Rapsölmethylester liegt zwischen Rapsöl und Dieselkraftstoff.

Zündverhalten

Biodiesel besitzt eine im Vergleich zu Rapsöl höhere Cetanzahl und beschleunigt somit den Verbrennungsvorgang. Durch die verbesserte Verbrennung läuft der Motor ruhig; der Motorwirkungsgrad verbessert sich im Vergleich zu Rapsöl.

Viskosität

Die Viskosität von Biodiesel liegt geringfügig höher als die von Dieselkraftstoff. Es treten aber keine Probleme beim Einspritzen auf, und die Schmierung der gleitenden Teile wird auch gewährleistet. Grundsätzlich besteht ein Zusammenhang zur Qualität des Esters: größere Gehalte an Mono-, Di- und Triglyceriden führen zu höheren Viskositäten; deswegen ist auf eine möglichst vollständige Umesterung zu achten.

Flammpunkt

Biodiesel besitzt einen Flammpunkt von weit über 100 °C; er ist somit kein Gefahrgut, und die Handhabung bei Lagerung und Transport erleichtert sich wesentlich.

Heizwert

Biodiesel hat annähernd den gleichen Heizwert wie rohes Rapsöl. Der im Vergleich zu konventionellem Dieselkraftstoff geringere Heizwert beruht wie beim Rapsöl auf dem Sauerstoffgehalt von 11% im Molekül.

Grenzwert der Filtrierbarkeit

Die Schmelztemperatur reiner Ester hängt von der Kettenlänge und der Anzahl der Doppelbindungen ab. Mit steigender Kettenlänge und abnehmender Zahl der Doppelbindungen steigt die Schmelztemperatur. Biodiesel besitzt ohne Winteradditiv einen CFPP-Wert von -10 °C und übertrifft somit den Sommer-Dieselmotorkraftstoff.

Schwefelgehalt

Biodiesel enthält nahezu keinen Schwefel. Daraus ergeben sich mehrere Vorteile. Bei der Verbrennung entsteht kein Schwefeldioxid. Außerdem entsteht bei der Verbrennung kein Sulfat. Die Partikelmenge wird dadurch wesentlich verringert. Katalysatoren können so optimal auf den schwefelfreien Kraftstoff ausgelegt werden. Die Vergiftung der Katalysatorbeschichtung durch Schwefel wird reduziert, die Lebensdauer erheblich verlängert.

Koksrückstand

Ablagerungen entstehen in der gleichen Menge wie beim normalen Dieselmotorkraftstoff; sie stellen somit keine wesentliche Problem dar.

Aschegehalt

Ablagerungen sind mit denen des Dieselmotorkraftstoffes vergleichbar.

Wassergehalt

Der Wassergehalt liegt bei Biodiesel unter dem vom Rapsöl. Dadurch sind weniger Probleme durch Korrosion zu erwarten.

Neutralisationszahl

Auch die Neutralisationszahl ist geringer. Dies ist verständlich, da die freien Fettsäuren verestert wurden.

Methanolgehalt

Der Methanolgehalt ist insbesondere aus sicherheitstechnischen Gründen wichtig. Methanol im Biodiesel senkt den Flammpunkt, wodurch das Produkt in eine andere Gefahrenklasse gelangen kann und sich Probleme bei der Lagerung und beim Transport ergeben könnten.

Glyceride und freies Glycerin

Der Glyceridanteil dient zur Produktkontrolle (Umesterung); außerdem sind die Glyceride maßgeblich an der Erhöhung der Viskosität beteiligt. Auch Glycerin ist ein Parameter der Produktkontrolle. Ferner entsteht aus Glycerin bei der Verbrennung Acrolein, das zum biodieselspezifischen Geruch beiträgt und gesundheitlich nicht unbedenklich ist.

Alkaligehalt

Dieser Kennwert ist ein weiterer Parameter der Produktkontrolle.

Siedeverlauf

Die Siedeverlaufskurven von Biodiesel und traditionellen Dieselmotorkraftstoff sind in Abbildung 5.3 dargestellt.

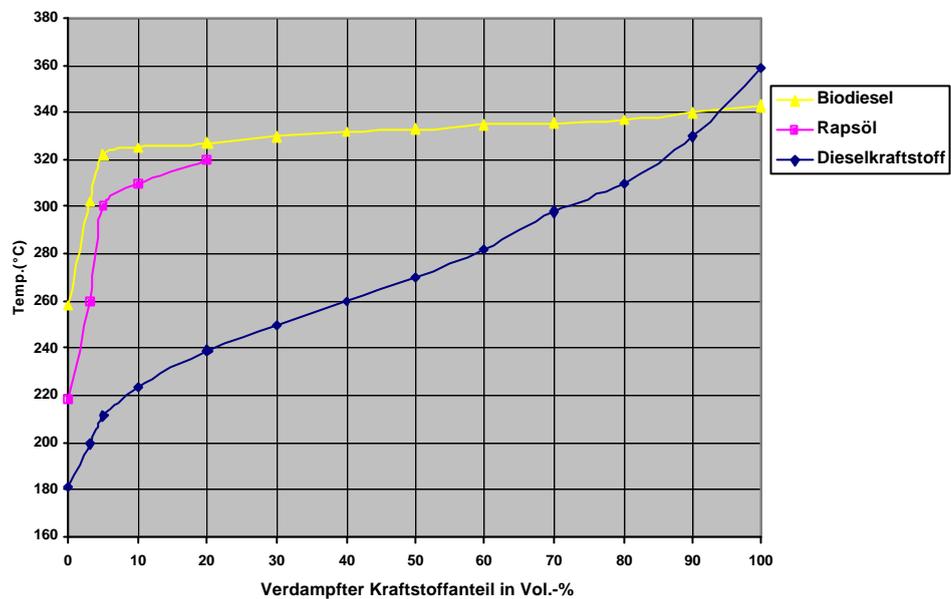


Abbildung 5.3 : Vergleich der Siedeverlaufskurven von Biodiesel-Rapsöl-Dieseldkraftstoff (nach [19])

5.3 Biodieseldkapazität

In Abbildung 5.4 findet sich eine Übersicht über die Betreiber von Biodieseldanlagen in Deutschland und die jährliche Kapazität.

Betreiber	Ort	Bundesland	Kapazität (t/Jahr)	Bemerkungen
Bestehende Anlagen				
Ölmühle Leer Connemann GmbH	Leer	Niedersachsen	100 000	seit 9/1996
Campa Biodieseld GmbH	Ochsenfurt	Bayern	75 000	seit 1/2000
Biodieseld Wittenberge GmbH	Wittenberge	Mecklenburg-Vorpommern	60 000	seit 8/1999
Hallertauer Hopfenverwertungs-Gesellschaft	Mainburg	Bayern	5 000	nur Saisonbetrieb
Landwirtschaftliche Produktverarbeitungs-GmbH	Henningsleben	Thüringen	5 000	seit 4/98
Verwertungsgenossenschaft Biokraftstoffe	Großfriesen	Sachsen	2 000	seit 1996
SUMME „IST“			247 000	
Anlagen in Planung				
Ölmühle Hamburg	Hamburg	Hamburg	100 000	Geplant
Labor- und Umwelt-Technik GmbH	Jena	Thüringen	100 000	Geplant
Biodieseld Schwarzheide GmbH	Schwarzheide	Brandenburg	100 000	Geplant
SARIA GmbH	Malchin	Mecklenburg-Vorpommern	12 000	Geplant
Rieser Ölwerke	Riesa	Sachsen	60 000	Geplant
Landesverband der Maschinenringe SH	Brunsbütel	Schleswig-Holstein	100 000	Geplant
SUMME „GEPLANT“			472 000	
SUMME „GESAMT“			719 000	

Abbildung 5.4: Biodieseldkapazität in Deutschland im Jahr 2000 (nach[19])

Biodiesel wird hier in Deutschland vor allem in 3 großen Produktionsstätten hergestellt, wobei sich die größte in Niedersachsen befindet. Diese war zugleich der Pionier der großangelegten Biodieselproduktion. In Ochsenfurt befindet sich der zweitgrößte Biodieselproduzent, die Campa-Biodiesel GmbH. Diese befindet sich auf dem Gelände der Südzucker AG und ist seit Januar 2000 im Betrieb. Die Realisierung des Vorhabens wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Rahmen des Energiekonzeptes der Staatsregierung, die nachwachsende Energieträger spürbar voranbringen will, unterstützt. Von der Investitionssumme übernahm der Bayerische Staat etwas mehr als 6,5 Millionen Mark oder 40 %. Die Mittel für die Förderung stammen aus dem Innovationsprogramm „Offensive Zukunft Bayern“. (vgl. [20])

Zusammen mit weiteren kleineren Anlagen beträgt die Gesamtproduktion von 247 000 Tonnen Biodiesel (2000). Es befinden sich Anlagen in Planung, um die Produktion auszuweiten, vor allem in den neuen Bundesländern. Geplant ist eine Jahresproduktion von insgesamt 719 000 Tonnen Biodiesel.

5.4 Fahrzeugumrüstungen für den Biodieselbetrieb

Heute sind viele Dieselfahrzeuge von Hause aus für den Betrieb mit Rapsölmethylester freigegeben, bei älteren (oder nicht freigegebenen) Modellen sind jedoch Umbauten notwendig, da Gummi- und Kunststoffteile aufgrund der Lösungsmittleigenschaften durch Kontakt mit Rapsölmethylester angegriffen werden können.

Eine Umstellung an wesentlichen Teilen des Motors, wie dies beim Elsbett-Motor erforderlich ist, ist nicht notwendig, jedoch sind beim Kraftstofffilter, bei Gummiteilen, beim Lack und beim Motoröl einige Hinweise zu beachten: (vgl. [21])

Kraftstofffilter

Wer bisher konventionellen Dieselmotorkraftstoff getankt hat, sollte nach den ersten ein bis zwei Tankfüllungen mit Biodiesel den Kraftstofffilter vorsorglich austauschen. Dies ist ratsam, da Biodiesel alte Ablagerungen des mineralischen Diesel im Tank und in den Leitungen löst. Da dies zu einer Verstopfung des Filters führen kann, sollte der Filterwechsel rechtzeitig erfolgen.

Gummiteile

Kraftstoffschläuche und Dichtungen sind bei einigen Fabrikaten aus Kunststoffen hergestellt, die auf Dauer gegenüber Biodiesel aufgrund der Lösungsmittleigenschaften nicht beständig sind. Die Folge kann unter Umständen ein Aufquellen der Materialien sein; nach 4 bis 6 Monaten treten Undichtheiten auf. Eine erste Vorsichtsmaßnahme ist das regelmäßige Überprüfen der frei zugänglichen Schläuche auf ihre Qualität. Besser ist ein Wechsel durch geeignete Materialien, z. B. Fluorkautschuk. (vgl. [20])

Lack

Wegen seines Lösungsmittelverhalten sollte Biodiesel nicht mit Lackteilen in Kontakt kommen. Werden betroffene Lackstellen sofort abgewischt, können selbst empfindliche Lacke keinen Schaden nehmen.

Motoröl

In Einzelfällen kann es zu einer Verdünnung des Motoröls kommen, wenn der Motor über einen längeren Zeitraum mit schwacher Belastung gefahren wird (Niederzahlbetrieb). Wie bei konventionellem Diesel gelangt hierdurch unverbrannter Kraftstoff ins Schmieröl und führt dort zu einer Verdünnung des Schmieröles. Dadurch besteht die Gefahr einer Abnahme der Viskosität und der Bildung von schlammartigen Ablagerungen. In diesem Fall sollte ein Ölwechsel vollzogen werden. Ansonsten können die vom Motorhersteller empfohlenen Ölwechselintervalle eingehalten werden. (vgl. [21])

5.5 Freigaben ab Werk für den Biodieselbetrieb

Bei Dieselfahrzeugen jüngerer Bauart ist meist schon ab Werk biodieselbeständiges Material verwendet worden. Viele Anbieter erteilen diese Freigaben und lassen auch die Werksgarantie weiterlaufen, solange Biodiesel getankt wird, der der Norm entspricht. Bevor mit Biodiesel gefahren wird, sollte man auf jeden Fall bei seiner Autowerkstatt nach einer Freigabe fragen. Tabelle 5.2 gibt eine Auswahl wieder.

Tabelle 5.2: Biodieselfreigaben ab Werk (nach [19])

Audi	Freigaben für A4 TDI und A6 TDI ab Baudatum Januar 1996
BMW	Freigabe für 525 TDS mit RME-Paket ab März 1997 (300 DM/153 Euro Aufpreis)
Japanische Fahrzeuge	Keine Freigaben
Mercedes-Benz	Freigabe für C 220 D und E 220 D ab September 1999 (300 DM/153 Euro Aufpreis)
Opel	Keine Freigaben
Peugeot	Ab Baujahr 2000 für 30% -ige Zumischung freigegeben
Renault	Keine Freigaben
VW	Freigabe für alle Diesel-PKW-Neuwagen ab Baudatum August 1995

5.6 Nachrüstsets für ältere Dieselfahrzeuge

Besitzt man ein älteres Dieselfahrzeug, dann kann durch recht kostengünstige Umrüstsets das Fahrzeug biodieseltauglich gemacht werden. Diese Sets enthalten biodieselbeständige Gummileitungen- und Dichtungen, die in jeder Werkstatt gegen die alten ausgetauscht werden können.

Tabelle 5.3: Preise für Biodieselumrüstsets (Stand: 06/2000)

Hersteller	Typ	Baujahr	Preis (inkl. MwSt.)
AUDI	Audi 80	82	178,00 DM (91,00 Euro)
AUDI	Audi 80 TDI	ab 8/92	137,50 DM (70,29 Euro)
BMW	525 tds	88-95	180,26 DM (92,15 Euro)
Ford	Scorpio 2,5 TD	ab 10/94	117,94 DM (60,29 Euro)
Mercedes	300 TD	84-95	131,41 DM (67,18 Euro)
Mercedes	Sprinter	ab 2/95	161,00 DM (82,31 Euro)
VW	Golf III	91-96	150,20 DM (76,78 Euro)
VW	Transporter T3	87-90	182,20 DM (93,14 Euro)

Die Preise sind die reinen Preise für die Umrüstsets. Je nach Arbeitszeit in der Werkstatt kommen noch 100 bis 200 DM (51 bis 102 Euro) dazu.

5.7 Bezug, Transport und Lagerung von Biodiesel

Biodiesel kann mittlerweile an 1000 Tankstellen bundesweit getankt werden, so dass eine flächendeckende Versorgung gewährleistet ist. Eine Auswahl an Biodieseltankstellen sowie eine Qualitätsbeurteilung des von ihnen verkauften Biodiesels findet sich in [31]. Die Versorgung gewerblicher Verbraucher erfolgt hauptsächlich im Direktvertrieb oder durch den örtlichen Treibstoffhandel. Auf diese Weise ist auch die Tankwagen-Versorgung bundesweit gesichert. Für die Tankstellen stellt die Einführung von Biodiesel in ihrer Verkaufspalette im Normalfall kein Problem dar, da durch den Wegfall des Kraftstoffes „Super verbleit“ genügend Lagerkapazität vorhanden ist.

Biodiesel ist kein Gefahrgut und unterliegt deshalb nicht den Vorschriften der Gefahrgutverordnung Straße (GGVS). Biodiesel ist auch keine brennbare Flüssigkeit im Sinne der Verordnung brennbare Flüssigkeiten (VbF). Der Flammpunkt liegt deutlich über 100 °C. Die Lagermöglichkeiten sind deshalb erheblich günstiger als bei den mineralischen Treibstoffen. Biodiesel ist in Deutschland in die Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 eingestuft, obwohl es nach Aussage der Kommission wassergefährdender Stoffe beim Umweltbundesamt eigentlich in die WGK 0 gehört (mineralischer Diesel ist WGK 2). Durch diese drei Vorteile ergeben sich bedeutend günstigere Möglichkeiten beim Transport und der Lagerung. Der Transport von Biodiesel erfolgt üblicherweise in den auch für mineralischen Diesel geeigneten Tankfahrzeugen. Diese Fahrzeuge oder deren einzelne Kammern, in denen sich Biodiesel befindet, dürfen jedoch nicht als Gefahrgut gekennzeichnet sein. Damit unterliegen diese Fahrzeuge auch keinen Fahrwegbestimmungen oder ähnlichen Einschränkungen. Biodiesel wird normalerweise in doppelwandigen, ober- oder unterirdischen Tanks gelagert. Hier gibt es keine Unterschiede gegenüber der Lagerung mineralischer Produkte. Die Tanks müssen üblicher, herkömmlicher Art entsprechen und über das entsprechende Zeugnis verfügen. Grundsätzlich gilt, dass jeder Tank, der für mineralische Treibstoffe zugelassen ist, auch für Biodiesel verwendet werden kann. Bei Tanks mit

Innenhülle oder Kunststoffbeschichtung sollte eine Bescheinigung über die Biodiesel-Beständigkeit der Materialien eingeholt werden. Normalerweise ist ein Tank von 5000 Liter Inhalt, in verschiedenen Bundesländern auch bis zu 10000 Litern genehmigungsfrei. Es wird dafür jedoch eine Nutzungserlaubnis benötigt. Abfüllplätze müssen undurchlässig sein, jedoch ohne den bei Diesel erforderlichen Nachweis. Die Abfüllfläche muß so groß sein, dass sie ein bis zwei Meter über den Wirkungsbereich der Zapfsäule hinausgeht. (vgl. [23]) Da es sich beim Biodiesel nicht um eine brennbare Flüssigkeit handelt, kann die Tankanlage ohne besondere, gesetzlich vorgeschriebene Abstände aufgestellt werden. Es ist daher möglich, den Tank unter einem Vordach oder in einer Halle, Durchfahrt usw. aufzustellen, ohne besondere Maßnahmen treffen zu müssen. Gegebenenfalls ist ein Anfahrtschutz erforderlich. Die undurchlässige Fläche muß jedoch vorhanden sein. Auch die Umstellung einer Tankanlage von Diesel auf Biodiesel ist genehmigungsfrei. Hier wird eine Tankreinigung empfohlen, um Filterverstopfungen an der Zapfsäule vorzubeugen. Außerdem empfehlen sich unterirdische Tanks wegen der Lagerstabilität. Der Lagerplatz sollte nach Möglichkeit kühl und vor Sonneneinstrahlung geschützt sein. Außerdem sollte er wasserdampffrei sein, da Biodiesel hygroskopisch ist und Wasser im Biodiesel zu Korrosion und Bakterienwachstum führen kann. (vgl. [20])

6. Abgase

6.1 Abgasnorm

Zur Abgasbeurteilung muß man zwischen limitierten, d. h. gesetzlich begrenzten und nicht limitierten Schadstoffen im Abgas unterscheiden. Limitierung gilt für Kohlenmonoxid CO, für unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC (Hydrocarbons) und die Stickoxide NO_x. Zu diesen drei Stoffen kommen beim Dieselfahrzeug noch zusätzlich die Partikel-Emissionen, also Ruß und vor allem wasserangelagerte Sulfate. Die Emissionen dieser Stoffe wurden im gesamten Bereich der Europäischen Union in mehreren Schritten begrenzt. Vor allem die EU-Abgasnorm Euro II von 1996 und Euro III seit 2000 brachten deutliche Reduzierungen der limitierten Schadstoffe mit sich (vgl. Abb. 6.1). Stickoxide wurden erst durch Euro III limitiert. Für das Jahr 2005 ist Euro IV geplant, wodurch die limitierten Schadstoffe nochmals deutlich reduziert werden. [vgl. [22])

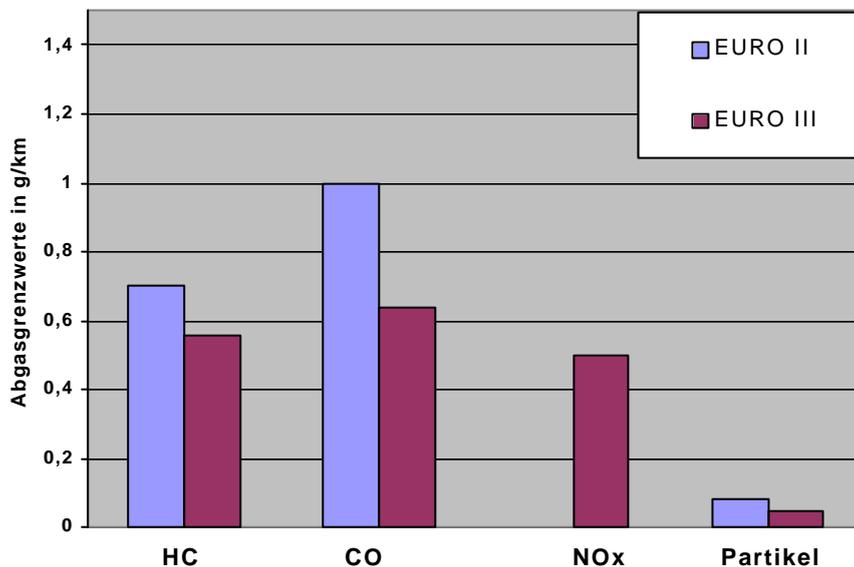


Abbildung 6.1 : EU-Abgasnorm für Dieselfahrzeuge (nach [22])

6.2 Limitierte Abgase

Vergleicht man die Abgasemissionen von Dieselfkraftstoff (DK), Biodiesel (RME) und Rapsöl (RÖ) miteinander, dann stellt man beim Biodiesel vor allem eine Reduktion der unverbrannten Kohlenwasserstoffe und der Kohlenmonoxide fest. Bei den Stickoxiden beobachtet man im Vergleich zum Dieselfkraftstoff eine Erhöhung.

Positiv zu bewerten ist auch die wesentliche Reduzierung der Partikelemission beim Biokraftstoff (Abb. 6.2 a)

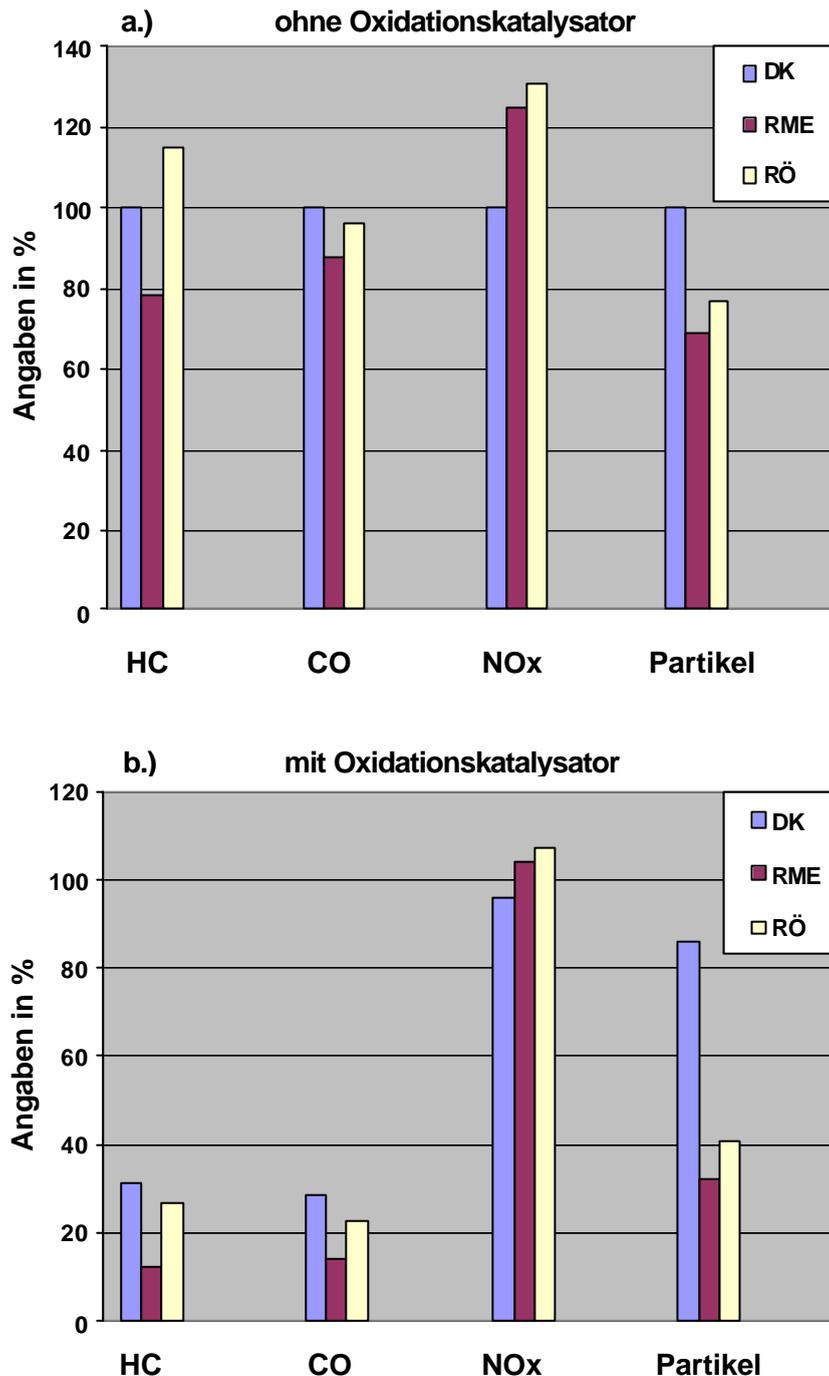


Abbildung 6.2 : Vergleich der limitierten Abgasemissionen bei verschiedenen Kraftstoffarten (durchschnittlich nach [22,24,25,26]) (DK= Dieseldieselkraftstoff; RME= Rapsölmethylester; RÖ= Rapsöl)

Durch Einsatz eines Oxidationskatalysators kann die Abgasmenge wesentlich reduziert werden (Abb. 6.2 b). Der Oxidationskatalysator, der bei Dieselmotoren Verwendung findet, funktioniert folgendermaßen: Nach Zusatz von Sekundärluft wird das Motorabgas durch einen mit einem Oxidationskatalysator bestückten Reaktor geleitet. Dabei werden im Abgas vorhandene Kohlenwasserstoffe sowie vorhandenes Kohlenmonoxid zu einem hohen

Prozentsatz in die unbedenklichen Produkte Wasserdampf und Kohlendioxid umgesetzt. Stickoxide lassen sich jedoch mit dieser Reaktorart nur in sehr geringem Umfang beeinflussen. (vgl. [10]) Zur deren Entfernung sind sogenannte Dreiwege-Katalysatoren notwendig. Bei diesem sind zwei katalytische Reaktoren hintereinandergeschaltet. Der erste Reaktor setzt bei Luftmangel die Stickoxide um, der zweite entfernt Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid. Die Sauerstoffzufuhr wird hier durch die sog. Lambda-Sonde genau geregelt. Dreiwege-Katalysatoren finden aber bei Dieselmotoren keine Anwendung, da der Dieselmotor immer mit Sauerstoffüberschuss arbeitet und eine genau Sauerstoffregelung sehr schwierig ist. (vgl. [8]) Als Trägermaterial für den Oxidationskatalysator dienen fast ausschließlich ovale Keramikmonolithe mit einer wabenförmigen Struktur, um eine große Oberfläche zu erhalten. Ausgangsmasse bei den Keramikmonolithen ist Kordierit, eine kristalline Masse aus Magnesia (MgO), Tonerde (Al₂O₃) und Kieselsäure. Die katalytisch aktive Beschichtung ist meist Platin oder Palladium. (vgl. [27])

6.3 Nicht limitierte Abgase

Nicht limitierte Abgase umfassen im wesentlichen die Gruppen der Aldehyde und Ketone (vgl. Abschnitt 6.3.1) sowie der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) (vgl. Abschnitt 6.3.2)

6.3.1 Aldehyde und Ketone

Wesentliche Bestandteile an Aldehyden sind Formaldehyd, Acetaldehyd und Acrolein (Abb. 6.3 a). Der im Vergleich zum Dieselmotorkraftstoff höhere Anteil an Aldehyden im Abgas ist für den stechenden Geruch der Biokraftstoffabgase verantwortlich. Der als unangenehm empfundene Geruch nach „altem Fritierfett“ stammt vom Acrolein, das bei der Verbrennung aus dem Glycerin entsteht. Durch den Einsatz eines Oxidationskatalysators lässt sich der Anteil an Carbonylen im Abgas reduzieren (Abb. 6.3 b); der unangenehme Geruch ist kaum noch wahrnehmbar. Allerdings ist die Anzahl an Fahrzeugen mit Oxidationskatalysatoren gering, Busse und LKW sind so gut wie noch gar nicht damit ausgestattet. (vgl. [28])

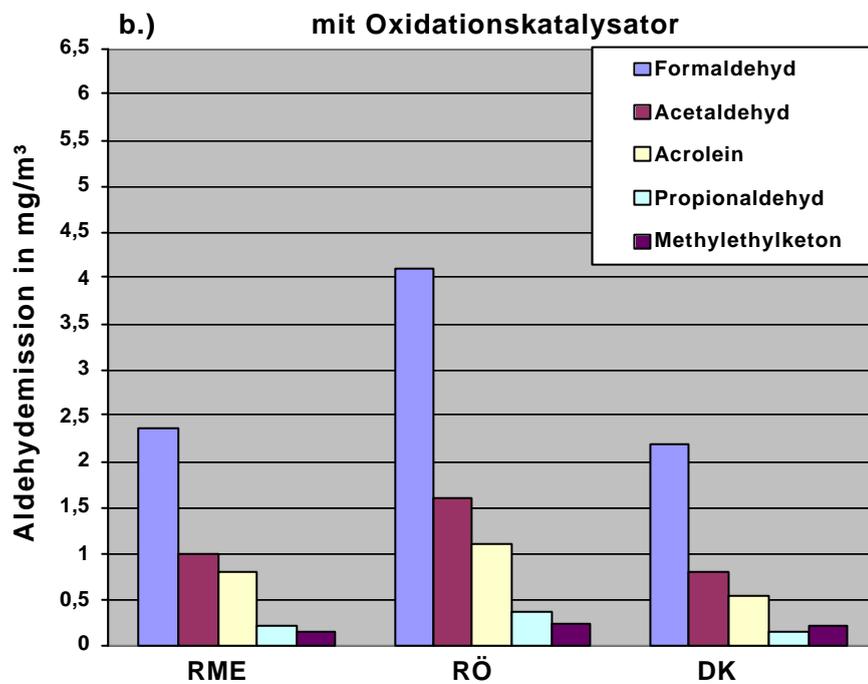
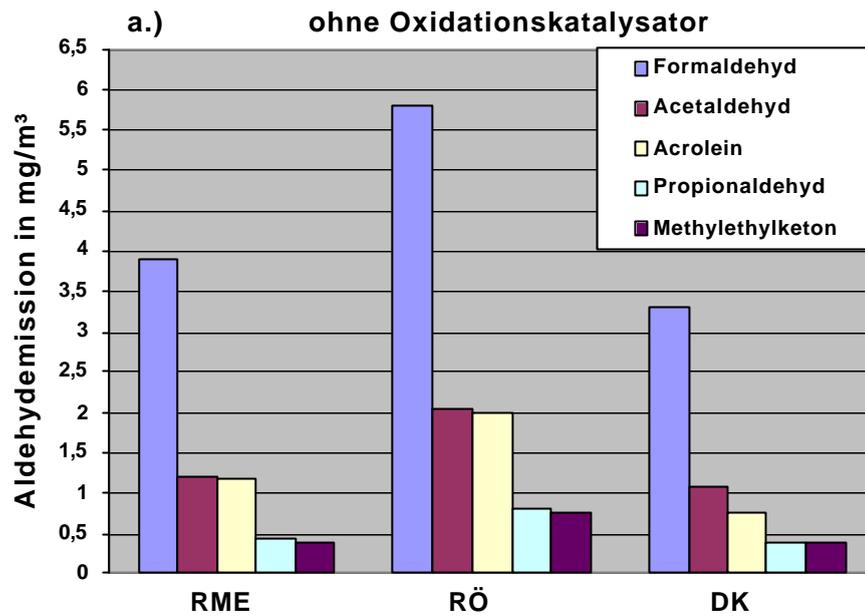


Abbildung 6.3 : Vergleich von Aldehyd- und Ketonemissionen bei verschiedenen Kraftstoffarten (durchschnittlich nach [15,24,25,26]) (RME= Rapsölmethylester; RÖ= Rapsöl; DK= Dieselkraftstoff)

6.3.2 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Zu den nicht limitierten Abgasbestandteilen gehören auch PAK. Diese entstehen bei allen unvollständigen Verbrennungsprozessen organischer Substanzen. Aufgrund ihrer schlechten Wasserlöslichkeit haften sie vor allem an den in den Abgasen enthaltenen Rußpartikeln und werden mit diesen verbreitet. Benzpyren tritt hier als Leitkomponente auf. Ebenso wie Benzpyren sind Chrysen und Pyren als kanzerogen eingestuft. (vgl. [24])

Der Vorteil bei den Biokraftstoffen liegt in den wesentlich geringeren Emission dieser PAK.

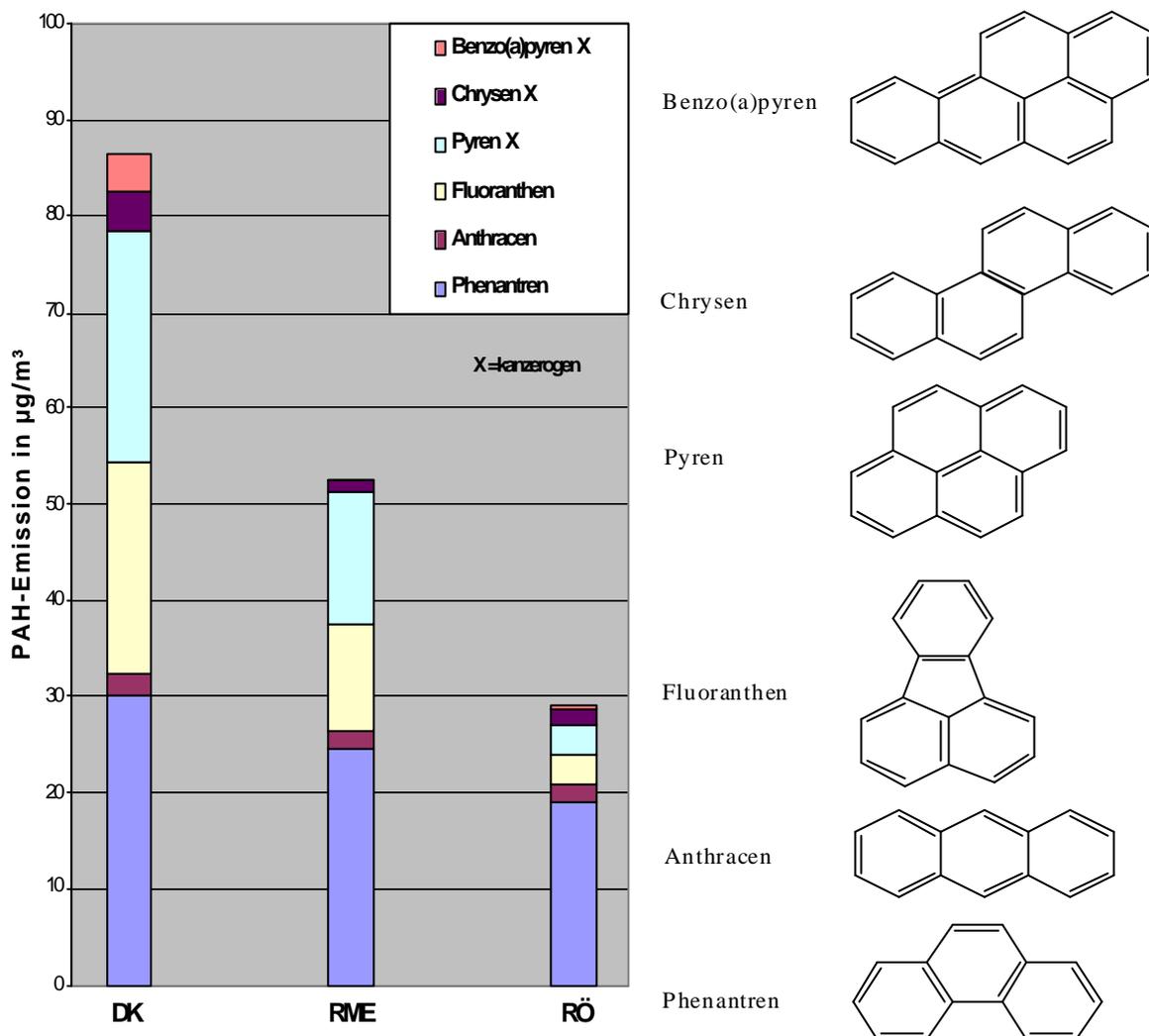


Abbildung 6.4 : Bildung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen bei verschiedenen Kraftstoffen (durchschnittlich nach [22,24,25,26]) (DK= Dieselkraftstoff; RME= Rapsölmethylester; RÖ= Rapsöl)

7. Schlussbetrachtung

7.1 Vorteile

?? Biodiesel gibt weitgehend nur soviel CO₂ ab, wie die Pflanze bei ihrem Wachstum aufgenommen hat (Tabellen 7.1 und 7.2).

Tabelle 7.1: CO₂-Emission in kg CO₂/ kg Dieselkraftstoff (durchschnittlich nach [12,22])

Emissionen indirekt	
Exploration und Transport des Rohöls bis Raffinerie	0,06
Raffinerieverarbeitung	0,26
Transport Raffinerie bis Endverbraucher	0,02
Summe indirekt	0,34
Emission direkt	3,15
Gesamtemission	3,49

Tabelle 7.2: CO₂-Emission in kg CO₂/ kg Biodiesel (durchschnittlich nach [12,18,22])

Emissionen indirekt	
Landwirtschaft	1,15
Rapsölgewinnung	0,52
Umesterung	0,32
Transport zu Endverbraucher	0,04
Summe indirekt	2,03
Emission direkt	0
Gesamtemission	2,03 (42%)
Mit Gutschriften:	
Rapsschrot (Futtermittel)	-0,59
Glycerin (synthetische Produktion)	-0,72
Gesamtemission	0,72 (80%)

?? Biodiesel enthält fast keinen Schwefel.

?? Biodiesel wird zu 80% innerhalb von 3 Wochen biologisch abgebaut; beim konventionellem Dieselkraftstoff sind im gleichen Zeitraum gerade 20% abgebaut worden (vgl. [20]).

?? Biodiesel ist nicht als Gefahrgut eingestuft.

?? Biodiesel und Dieselkraftstoff können problemlos im Fahrzeugtank vermischt werden.

?? Biodiesel reduziert wesentlich den Rußanteil und die Partikelemission sowie HC – und CO-Emission im Abgas.

?? Biodiesel weist eine positive Energiebilanz auf (Tabelle 7.3).

Tabelle 7.3: Energieaufwendung zur Erzeugung von 1 Liter Treibstoff (durchschnittlich je nach Anlagengröße, nach [22,25])

Biodiesel		Dieselkraftstoff	
Input	Output	Input	Output
11,24 MJ/l	35,2 MJ/l	5,3 MJ/l	35,6 MJ/l
1	3,13	1	6,71

?? Biodiesel kann in den meisten Neufahrzeugen ohne Umbaumaßnahmen verwendet werden.

?? Biodiesel schont Ressourcen.

7.2 Nachteile

?? Geringes Substitutionspotential:

Dieselmotorenverbrauch 2000: 26 Millionen Tonnen

Biodieselproduktion 2000: 247 000 Tonnen ? 0,95 % substituiert

Geplante Biodieselproduktion : 719 000 Tonnen ? 2,76 % substituiert

Gesamte landwirtschaftliche Fläche Deutschlands für Rapsanbau : 12 Millionen Tonnen

Biodiesel ? 46,15 % substituiert (vgl. [11]).

?? Hoher Pflanzenschutz- und Düngemiteleinsatz.

?? Biodieselenergie ist zu teuer (vgl. Tab. 7.4)

Tabelle 7.4 : Kostenzusammensetzung je Liter Kraftstoff (durchschnittlich je nach Anlagengröße, nach [12,22,29], Stand 04/2001)

	<u>DM/l (Euro/l)</u>
Biodiesel	
Rapssamen	0,80 (0,40)
Ölgewinnungskosten	+0,17 (0,08)
Umesterungskosten	+0,11 (0,05)
Vertriebs- und Transportkosten	+0,20 (0,10)
Erlös Rapsschrot	-0,24 (0,12)
Erlös Glycerin	-0,08 (0,04)
	1,31 (0,66)
	+0,20 (0,10) (16 % Mehrwertsteuer)
	1,52 (0,77) (Tankstellenpreis)
	+0,80 (0,40) (Mineralölsteuer)
	2,32 (1,18)
Rapsöl	
Herstellungskosten	0,89 (0,45)
	+0,14 (0,07) (16 % Mehrwertsteuer)
	1,03 (0,52) (Verkaufspreis)
	+0,80 (0,40) (Mineralölsteuer)
	1,83 (0,93)
Dieselmotoren	
Herstellungskosten	0,68 (0,35)
	+0,11 (0,05) (16 % Mehrwertsteuer)
	+0,80 (0,40) (Mineralölsteuer)
	1,59 (0,81) (Tankstellenpreis)

?? Hoher Subventionsbedarf bzw. Einnahmeverluste durch Mineralölsteuerbefreiung

1 Tonne Biodiesel = 800 DM Subvention

247 000 Tonnen Biodiesel = 197 600 000 DM Subvention

7.3 Ausblick

Aufgrund der dargestellten Vor- und Nachteile ergibt sich, dass sich die Substitution von Dieselmotoren durch Biodiesel dort anbietet, wo der Einsatz ökonomisch und auch ökologisch sinnvoll ist. Dies ist in folgenden Bereichen gegeben:

- ?? Öffentlicher Personennahverkehr, Taxibetriebe, Post- und Paketdienste.
- ?? Kommunale Fahrzeuge der Straßenreinigung, Müllabfuhr, Landschafts- und Straßenpflege, Bundeswehr, Deutsche Post, Deutsche Bahn AG.
- ?? Fahrzeuge, die Gewässer gefährden können: Kies- und Sandtransport, Binnenschifffahrt, Boote und Yachten auf Flüssen und Binnenseen.
- ?? Landwirtschaft und Transportfahrzeuge, die schwerpunktmäßig in ländlichen Gebieten unterwegs sind.

Literaturverzeichnis

1. Waskow, F.; Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe: Anbau-Verarbeitung-Produkte, C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 1998
2. Laute, H.; Raps, eine Pflanze mit Zukunft, Schriftenreihe der Landwirtschaftskammer Rheinland, Heft 24, Bonn, 1988
3. Cramer, N.; Raps – Züchtung, Anbau und Vermarktung von Körnerraps, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1990
4. Roth, L.; Ölpflanzen-Pflanzenöle: Fette, Wachse, Fettsäuren, Botanik, Inhaltsstoffe, Analytik, Ecomed-Verlag, Landsberg, 2000
5. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten; Nachwachsende Rohstoffe, Programm des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Förderung von Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben, Bonn, 2000
6. Reuss, H.-J.; Hundert Jahre Dieselmotor : Idee, Patente, Lizenzen, Verbreitung, Franckh-Kosmos-Verlag, Stuttgart, 1993
7. Aral Aktiengesellschaft; Kraftstoffe für Straßenfahrzeuge, Grundlagen, Fachreihe Forschung und Technik, Bochum, 1998
8. Ioannis M. V.; Dieselmotor, Der sichere Weg zur Meisterprüfung im Kfz-Handwerk, Vogel Buchverlag,, Würzburg, 1994
9. Englhard, O.; Dieselmotorenanlagen, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1999
10. Grohe, H.; Messen an Verbrennungsmotoren, Vogel-Verlag, Würzburg, 1987
11. Aral Aktiengesellschaft; Dieselmotoren, Fachreihe Forschung und Technik, Bochum, 1995
12. Goerke D.; Ansatzpunkte zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Pflanzenöl als Treibstoff gegenüber Dieselmotoren, Fortschritt-Berichte VDI, Düsseldorf, 1998
13. Apfelbeck R.; Raps als Energiepflanze, Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, Weihenstephan, 1989
14. Menrad, H.; Rapsöl als Motorenkraftstoff, Beratungsgesellschaft für Mineral-ölanwendungstechnik, Hamburg, 1989
15. Munack, A.; Fachtagung Biodiesel, Optimierungspotentiale und Umwelteffekte, Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 195, Braunschweig, 1998
16. Martini, N.; Plant Oils as Fuels, Present State of Science and Future Developments, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1998
17. Eierdanz, H.; Perspektiven nachwachsender Rohstoffe in der Chemie,, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1996
18. C.A.R.M.E.N.; Pflanzenölaugliche Motoren, Herstellerliste, Tagungsband, Rimpf/Würzburg, 1993

- 19.
20. Oelmühle Leer Connemann; Biodiesel-Informationsbroschüre, Leer (Ostfriesland), 2000
21. Campa-Biodiesel; Biodiesel-Informationsbroschüre, Ochsenfurt, 2000
22. Hinze, H.; Biodiesel für Fahrzeuge, TÜV Süddeutschland, München, 1997
Kraus, K.; Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zum
23. Dieselkraftstoff, Umweltbundesamt, Berlin, 1999
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.; Biokonversion nachwachsender Rohstoffe,
24. Braunschweig, 1999
C.A.R.M.E.N.; Emissionen von Pflanzenölkraftstoffen und ihre Umweltwirkungen,
25. Tagungsband, Rimpar/Würzburg, 1994
Friedrich, A.; Ökologische Bilanz von Rapsöl bzw. Rapsölmethylester als Ersatz von
26. Dieselkraftstoff, Umweltbundesamt, Berlin, 1992
Haak, K. E.; Beiträge zur Emission von Personenkraftwagen mit
27. Dieselmotor, Dissertation, Clausthal, 1980
- 28.
29. Kasedorf, J.; Vergaser- und Katalysatortechnik, Vogel-Verlag, Würzburg, 1993
30. Meunzel, R.; Die neue Abgasuntersuchung, Autohaus-Verlag, Ottobrunn, 1993
BayWa-Mineröle; Biodiesel-Produktinformation 2/2000, BayWa AG München, 2000
31. Aral Aktiengesellschaft; Spannungsfeld Verkehr-Umwelt-Mineralölwirtschaft, Fachreihe
Forschung und Technik, Bochum, 1999
Kroher, T.; Biodiesel im Test, ADAC Motorwelt, Ausgabe 8/2001, S. 16, München