

Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl

Prospects and Limits
of the Energetic Use
of Castor Oil



Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 53

Potsdam-Bornim 2005

**Möglichkeiten und Grenzen
der energetischen Nutzung
von Rizinusöl**

Prospects and Limits
of the Energetic Use
of Castor Oil

Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 53

Potsdam-Bornim 2005

Herausgeber:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

☎ 0331 5699-0
Fax 0331 5699-849
E-Mail atb@atb-potsdam.de
Internet www.atb-potsdam.de

Bearbeitung und Redaktion:

Dr.-Ing. Volkhard Scholz

Titelfotos:

www.botanikus.de; ICB Monforts ; www.elsbett.com; Franke (1994)

Typografische Gestaltung:

Christine Bronowski
Peter Kaulfuß

November 2005

Diese Studie wurde im Auftrag der **Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Eschborn, Abteilung Umwelt und Infrastruktur** angefertigt.

Danksagung:

Den Kollegen Prof. J. Krahl (FAL Braunschweig), Dr. E. Remmele (TFZ Straubing), Dr. T. Graf (TLL Jena), Dr. G. Reinhard (IFEU Heidelberg), Dr. M. Diederling (Alberdingk Boley Krefeld) sowie Herrn D. Bockey (ufop Berlin) danken wir für die zahlreichen Informationen und Hinweise in Zusammenhang mit der Ausarbeitung dieser Studie.

Besonderer Dank gebührt Herrn Dr.-Ing. Jürgen Wolf aus Schlieben, ehem. Leiter der AG „Biotreibstoffe und Bioschmierstoffe“ der Energie-Technologie-Initiative (ETI) Brandenburg, dessen langjährige wissenschaftliche und praktische Erfahrungen zur energetischen Nutzung von Pflanzenöl ausgesprochen hilfreich für die Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Rizinusöl waren.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Potsdam-Bornim 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Produktion und Eigenschaften von Rizinus	6
2.1	Anbau und Aufbereitung von Rizinus	6
2.2	Eigenschaften von Rizinus	10
3	Verwendung und Vermarktung von Rizinus	15
3.1	Verwendung von Rizinusöl	15
3.2	Verwendung der Nebenprodukte der Rizinusölproduktion	17
3.3	Internationaler Rizinushandel	19
3.4	Marktchancen brasilianischen Rizinusöls in Deutschland und Europa	24
4	Möglichkeiten der Aufbereitung und energetischen Nutzung von Rizinusöl	27
4.1	Gewinnung und Aufbereitung von Pflanzenölen	27
4.2	Motorische Nutzung nativer Pflanzenöle	31
4.3	Umesterung von Pflanzenöl	39
4.4	Motorische Nutzung von Pflanzenölestern	44
4.5	Motorische Nutzung von Mischkraftstoffen	50
5	Umweltaspekte der Produktion und energetischen Nutzung von Rizinus	53
6	Zusammenfassung	57
7	Abstract	59
	Quellenverzeichnis	60
	Anlagen	
1	Ertrag und Ölgehalt von Ölsaaten	
2	Technische Eigenschaften von Pflanzenölen	

- 3 Eigenschaften des Rizinusöls nach DIN 55939
- 4 Eigenschaften des Rizinusöls nach dem ICOA-Standard
- 5 Eigenschaften handelsüblicher Rizinusöle und ausgewählter Derivate
- 6 Internationaler Ölsaaten-Markt
- 7 Internationaler Rizinusöl-Markt
- 8 Hersteller und Planer von Pflanzenölgewinnungsanlagen
- 9 Daten und Preise ausgewählter Pflanzenölpressen
- 10 Hersteller und Umrüster pflanzenöлтаuglicher Motoren in Deutschland
- 11 Deutscher Qualitätsstandard für Rapsöl-Kraftstoff
- 12 Vergleich nationaler Standards für Biodiesel
- 13 Ausgewählte Daten von Pflanzenöl-Mischkraftstoffen
- 14 Definition der kraftstoffspezifischen Kennwerte
- 15 Presskosten für Rizinus- und Rapsöl (Modellrechnung)
- 16 Rentabilität der Rizinus- und Rapsölgewinnung (Modellrechnung)
- 17 Kosten der dezentralen Biodieselherstellung (Modellrechnung)
- 18 Biodieselproduzenten in Deutschland

Reihe Bornimer Agrartechnische Berichte

1 Einleitung

Die Regierung Brasiliens hat im Sommer 2004 den Startschuss für ein Biodiesel-Programm gegeben, bei dem die Armutsbekämpfung und der Umweltschutz im Mittelpunkt stehen. Das Programm werde die Produktion von Biodiesel aus Rizinus- oder Palmöl im Norden und Nordosten des Landes fördern und die Kleinhersteller von mehreren Steuern befreien, so Energieministerin Dilma Rousseff. Die Regierung von Präsident Luiz Inácio Lula da Silva schätzt, dass das neue Programm bis zum Jahr 2006 Arbeit für 250.000 Bauernfamilien schaffen wird.

Brasilianische Kraftstoffhersteller dürfen in den nächsten drei Jahren bzw. müssen laut Gesetz Nr. 11.097 ab dem Jahr 2008 zwei Prozent Biodiesel (B2) dem konventionellen Dieselmotorkraftstoff beimischen (NIPE-ENERGIA, 2005). Der maximale Anteil von Biodiesel an Diesel-Treibstoff soll dann ab 2013 auf fünf Prozent erhöht werden. Laut Ministerin Rousseff wird Brasilien durch die Produktion von Biodiesel in den ersten acht Jahren jährliche Energieimporte in Höhe von 160 Millionen US-Dollar und ab 2013 Importe im Wert von insgesamt 400 Millionen US-Dollar einsparen (BIOBLATT, 2004).

Politisch besonders gefördert und mit entsprechenden Subventionen ausgestattet wird in Zukunft der Anbau von Rizinus (Mamona) im Nordosten und Ölpalmen im Norden des Landes. Die Regierung hat in diesem Zusammenhang erste Vereinbarungen mit der Privatwirtschaft getroffen („Termo de Cooperação Técnica“; für den Norden mit der Fa. AGOPALMA, für den Nordosten mit der Fa. ECODIESEL). Für Rizinus finden sich im gesamten Nordosten ideale Wachstumsbedingungen. Der Anbau und die Verarbeitung der Ölpflanze ist arbeitsintensiv und eignet sich für eine gemeinschaftlich organisierte Produktion durch Bauernvereinigungen, Genossenschaften etc.

Die entwicklungspolitischen Zielstellungen der deutschen Seite bestehen dabei insbesondere in der Unterstützung der armen Bevölkerung in den genannten Regionen (Arbeitsplätze, Verdienstmöglichkeiten schaffen etc.) und in der Förderung privatwirtschaftlicher Initiativen, inkl. deutscher Unternehmen.

Das Ziel dieser Studie besteht daher in der Ermittlung und Bewertung der technischen und merkantilen Möglichkeiten der Nutzung von in Brasilien produziertem Rizinusöl. Neben einer Einschätzung der Marktchancen dieses hochwertigen Pflanzenöls in Deutschland und Europa besteht der Schwerpunkt insbesondere in der Darstellung der technischen Eigenschaften des Öls und der daraus resultierenden Eignung als Kraftstoff in Form von naturbelassenem Öl und Biodiesel. Außerdem soll ein Überblick über moderne für Brasilien geeignete Pflanzenölaufbereitungstechnologien und Motorenkonzepte, einschließlich der bisherigen Erfahrungen dazu in Deutschland, gegeben werden.

2 Produktion und Eigenschaften von Rizinus

2.1 Anbau und Aufbereitung von Rizinus

Rizinus, *Ricinus communis* L., (Wunderbaum, Christuspalme, Kreuzbaum, Hundsbäum, Läusebaum, Castor, Ricin, Higuierilla, Mamona, Mamoeira, Palma christi) gehört zu den tropischen Wolfsmilchgewächsen (Euphorbiaceae) und stammt wahrscheinlich aus Ostafrika oder Indien, findet sich aber heute verwildert und angebaut in allen warmen Ländern der Erde. Samen dieser Pflanze fanden sich bereits 4000 v. Chr. in ägyptischen Gräbern. Rizinus ist ursprünglich ein Baum bzw. ein Strauch, der über 10 Meter hoch werden kann und ca. 4 Jahre lebt. Die derzeit überwiegend angebauten Zwergformen erreichen im einjährigen Anbau Höhen von 60 bis 120 cm, im mehrjährigen Anbau mehrere Meter. *Ricinus communis* var. *zanzibarensis*, eine den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas angepasste Varietät, ist hier als Zierstrauch verbreitet.

Männliche und weibliche Blüten stehen auf einem gemeinsamen Blütenstand (Windbestäubung). Die Frucht ist eine stachelige oder auch stachellose dreifächrige Kapsel (**Abb. 1**). Das Tausendkorngewicht der glatten, glänzenden, dunkelgrauen, braunen, schwarzen oder gelbbraunen Samen (Bohnen) liegt zwischen 100 und 700 g. Sie sind 9 bis 23 mm lang, 4 bis 17 mm breit und 4 bis 9 mm dick. Ihr Ölgehalt beträgt meist 40 bis 55 % (REHM und ESPIG, 1984; SCHUSTER, 1992; FRANKE, 1994; ROTH und KORMANN, 2000)¹.



Abb. 1: Rizinustrieb mit Blütenstand sowie ein Längsschnitt und ein Querschnitt durch eine Kapsel nach FRANKE (1994)

¹ Weiterführende Informationen und Forschungsergebnisse zu Botanik, Anbau und Ölgehalt von Rizinus finden sich u.a. in GIRIRAJ, MENSINKAI und SINDAGI, 1974; BANZATTO, CANECCHIO und SAVYFO, 1977; MOURSU und KISHK, 1977; LOTTI, PIOLO und NAVARI-IZZO, 1978; BADAMI und PATIL, 1981; PATHAK, DANGARIA und PARMAR, 1986; MARIOTTO et al., 1987; ARANEZ, 1989; PAZIR und MUHAMMAD, 1991; MICHYAMA und YAMAMOTO, 1993; MICHYAMA et al., 1994; PASCUAL-VILLALOBOS, 1995; PEUKE et al., 1996; BRIGHAM, 1996; LABALETTE et al., 1996; MURALIDHARUDU und NAGARAJ, 1997; TILLARD, PASSAMA und GOJON, 1998; KHASHIMOV und YULDASHEV, 1998; KOUTROUBAS, PAPA KOSTA und DOITSINIS, 2000; SHIVAS, OZANNE und TOMMERUP, 2000; ALI, 2002; RODRIGUES und LAURETI, 2002; LAURETI, 2002; OLIVEIRA und FONSECA, 2002.

Klima- und Bodenansprüche

Rizinus gedeiht von den feuchten Tropen bis zu den subtropischen Trockengebieten, wo immer seine Temperaturansprüche befriedigt werden (optimal 4½ bis 6 Monate bei 20 bis 25 °C). Er kann auch in Südeuropa angebaut werden (Rumänien, Spanien, Ukraine, Frankreich, Italien, Griechenland, Portugal u.a.), was wegen der Bedeutung des Rizinusöls für technische Zwecke bereits in den 30er Jahren (SCHUSTER, 1992) und Anfang der 90er Jahre im Rahmen eines EU-Projektes untersucht wurde (LABALLETTE et al., 1996). Temperaturen unter 15 °C sind für die Keimung ungünstig und über 38 °C für den Samenansatz. Unter hohen Temperaturen werden i. Allg. höhere Ölgehalte gebildet (SCHUSTER, 1992). Niederschläge von 750 bis 1000 mm sind optimal, doch in Sommerregengebieten können Zwergsorten auch noch bei 500 mm angebaut werden. Zuviel Feuchte verzögert die Reife und mindert sowohl den Ölgehalt als auch die Samenmasse.

Rizinus gedeiht auf unterschiedlichen Böden (pH 5 bis 8), bevorzugt aber tiefgründigen, sandigen Lehm (pH 6) mit guter Wasserführung und hohem Nährstoffgehalt. Er verträgt kein Salz. Der Nährstoffentzug für eine Tonne Saat (mit Kapseln) ist etwa 30 kg N, 5 kg P, 12 kg K, 4 kg Ca und 3 kg Mg (REHM und ESPIG, 1984).

Anbau

Sofern keine Einzelkornsaat möglich ist, werden pro Pflanzstelle 3 bis 4 Samen in 4 bis 8 cm Tiefe ausgelegt. Wenn die Pflanzen 15 bis 20 cm erreicht haben, wird auf die kräftigsten vereinzelt. Bei niedrigen Sorten beträgt die Standweite 80 bis 100 cm x 25 bis 30 cm. Hochwüchsige erfordern Abstände von 150 bis 200 cm x 30 bis 40 cm. In Abhängigkeit von der Standweite und dem Tausendkorngewicht sind 6 bis 20 kg/ha Saatgut erforderlich. Eine Stickstoffdüngung in Höhe von 40 bis 100 kg N/ha ist bis zum Erscheinen der ersten Blütenstände zu verabreichen. Der Bedarf an Phosphor (P) und Kali (K) ist meist mit Gaben von 30 bis 50 kg/ha gedeckt.

Bis zum Schließen des Blätterdaches sind Rizinusbestände aufgrund der großen Standweite und der verhältnismäßig langsamen Jugendentwicklung stark von Unkräutern gefährdet, die mechanisch mittels Hacke oder chemisch mittels Herbiziden im Voraufbauverfahren bekämpft werden können. Krankheiten spielen in Anbaugebieten mit geringer Luftfeuchtigkeit eine unbedeutende Rolle. Insektenschädlinge sind i. Allg. durch Sanierung und Fruchtwechsel in Schranken zu halten. Wegen seines tiefen Wurzelsystems, seiner Resistenz gegen Nematoden (*Meloidogyne spp.* und *Striga spp.*) ist Rizinus eine ausgezeichnete Kultur im Wechsel mit Tabak, Baumwolle, Mais, Weizen, Hirse u.a.

Ernte

Die Ernte ist relativ aufwendig. Bei der Handernte von nicht platzenden Sorten werden selektiv die reifen Fruchtstände (Feuchte < 45 %) abgeschnitten und später abgestreift oder die Einzelfrüchte mittels Abstreifbecher an der Pflanze sofort abgestreift. Aufgrund der unterschiedlichen Reifestadien der Samen sind bis zu 5 Erntevorgänge erforderlich. Bei platzfesten Sorten erfolgt das anschließende Öffnen der Kapseln manuell oder maschinell.

Für die mechanisierte Ernte werden meist modifizierte Mährescher eingesetzt, die z.T. die unreifen Kapseln separieren. Die Pflanzen sollten dabei ohne Blätter sein, was den Einsatz von Defolianten erfordern kann. Die getrennt zwischengelagerten unreifen Kapseln und deren Beimengungen bereitet man später mit der Scheibenschälereinrichtung stationär auf, oder man setzt die Erntemaschinen für den stationären Prozess ein. Rizinussamen verlangen wegen ihrer geringen Belastbarkeit Sorgfalt überall dort, wo sie Schlagbelastung oder Reibung ausgesetzt sind. Wird die Schale verletzt, tritt eine teigige (butterähnliche) Masse aus und führt zum Verschmieren und zu Verlusten. Die Masse der Kapseln macht etwa 15 bis 25 % der oberirdischen Pflanzenmasse aus (PEIPP, 1972) und die der Samenschalen ca. 17 bis 25 % (max. 40 %) des (ungeschälten) Erntegutes (SCHUSTER, 1992; BOCKISCH, 1993; REHM und ESPIG, 1994).

Tab. 1: Entwicklung der Anbauflächen und Samenerträge von Rizinus in den Hauptanbauländern nach FAO (2005)

Jahr	Brasilien		Indien		China		Weltweit	
	Fläche 1000 ha	Ertrag t/ha	Fläche 1000 ha	Ertrag t/ha	Fläche 1000 ha	Ertrag t/ha	Fläche 1000 ha	Ertrag t/ha
1970	381	0,9	439	0,3	180	0,6	1497	0,6
1975	399	0,9	375	0,4	170	0,4	1377	0,6
1980	441	0,6	498	0,4	200	0,6	1540	0,5
1985	497	0,8	637	0,5	233	1,2	1734	0,7
1990	287	0,5	810	0,9	275	1,1	1638	0,8
1995	76	0,4	789	1,0	190	0,9	1197	0,9
2000	195	0,5	1079	0,8	290	1,0	1692	0,8
2001	171	0,6	716	0,9	270	1,0	1287	0,8
2002	136	1,3	585	0,7	270	1,0	1116	0,8
2003	129	1,3	650	1,2	267	1,0	1177	1,0
2004	165	0,9	650	1,2	270	1,0	1216	1,1

Samen- und Ölertrag

Der Rizinussamenertrag beträgt derzeit im Weltdurchschnitt etwa 1,1 t/ha (FAO, 2005) (**Tab. 1**). Im Nordosten Brasiliens wurden im vergangenen Jahr etwa 1,0 t/ha geerntet (KNIGHT, 2004). Unter sehr günstigen Bedingungen können nach FRANKE (1994) und KITANI (1999) sogar 4,5 bis 5 t/ha erreicht werden. Die bohnenförmigen Samen der Rizinusstaude enthalten 35 bis 60 % (überwiegend 40 bis 55 %) Öl. Bei einem mittleren Ölgehalt von 47 % und einer geschätzten mittleren Ölausbeute von 90 % werden im Weltdurchschnitt etwa 460 kg Rizinusöl je Hektar gewonnen. Maximal sind möglicherweise über 2.000 kg Öl/ha erreichbar. Rizinus gehört damit weltweit zu den Pflanzen mit dem höchsten Ölertragspotenzial (vgl. Ertrag und Ölgehalt von Ölsaaten in **Anlage 1**).

Aufbereitung, Lagerung und Transport der Samen

Bei der Aufbereitung und dem Transport von Ölfrüchten allgemein – und bei Rizinus aufgrund des hohen Ölgehaltes und der vergleichsweise großen Samen im Besonderen – kommt es auf eine schonende Behandlung an. Die Erstaufbereitung nach der Ernte sollte so schnell wie möglich (noch vor der Trocknung) erfolgen, um Beimengungen zu beseitigen. Beschädigungen der Samen sollten durch entsprechende Einstellung der Maschinen (schonende Behandlung) weitgehend vermieden werden, um einem Verderb der Samen durch enzymatische Ölspaltung vorzubeugen.

Bei der Ernte und Verarbeitung der Samen ist Vorsicht geboten, denn sie sind sehr giftig. Zu einer tödlichen Vergiftung genügen 0,179 g pro kg Körpermasse (ROTH und KORMANN, 2000). Kinder sind besonders gefährdet, wenn sie die gut schmeckenden Samen zu sich nehmen. Als tödliche Dosis gilt 0,25 mg des Wirkstoffs, was schon einem Samenkorn entsprechen kann².

Bei der Lagerung der Rizinussamen (Schüttdichte ca. 400 kg/m³) besteht die Hauptaufgabe darin, die enzymatische Ölspaltung durch die Rizinuslipase (s. Fußnote 5) mittels Herabsetzung des Wassergehalts der Samen auf ein Minimum zu reduzieren. Nach FRANKE (1967) sollte dieser nicht mehr als 6 bis 8 % betragen, um eine ausreichende Lagerstabilität zu gewährleisten. Diese Empfehlungen dürften unter den feuchtwarmen Bedingungen Brasiliens mit besonderer Schärfe gelten.

² Die Wirkung des Giftes ist u.a. abhängig vom Zerkauen der Samen. Die Symptome einer Vergiftung sind Brennen in Mund und Rachen, Übelkeit, Erbrechen, Entzündungen von Magen- und Darm mit teilweise blutigen Durchfällen sowie Krämpfen. Der Patient leidet unter Schwindelgefühl, ferner kommt es zu Entzündungen der Nieren und durch das Verkleben der roten Blutkörperchen zu Thrombosen. Durch Versagen des Kreislaufes tritt der Tod nach etwa zwei Tagen ein. Der Giftstoff Ricin wurde übrigens 1962 als chemischer Kampfstoff zum Patent angemeldet, da er als Atemgift wirkt (BOTANICUS, 2004).

Gewinnung und Aufbereitung des Öls

Die Rizinussamen werden überwiegend maschinell gereinigt und sortiert. Danach wird das Öl durch 1- bis 3-maliges Pressen mit steigenden Pressdrücken und/oder Lösungsmittlextraktionen gewonnen. Als Pressen werden überwiegend Schnecken-, mitunter auch sogenannte Zylinderpressen verwendet. Wenn die Presse auf in der Regel über 70 °C erwärmt wird, spricht man vom Warmpressen, bei dem gegenüber dem Kaltpressen die Ausbeute höher ist³, die (pharmazeutische) Qualität jedoch geringer. Daher wird für pharmazeutische und kosmetische Zwecke meist kaltgepresstes Öl verwendet. Bei dem überwiegend angewandten Warmpressverfahren werden ca. 90 % des enthaltenen Öls gewonnen. Weitere ca. 8 % werden mit Lösungsmitteln (meist Hexan, aber auch Ethanol oder Schwefelkohlenstoff) extrahiert, so dass lediglich 1 bis 2 % Restöl im Presskuchen verbleiben. Durch anschließende Destillation werden Öl und Lösungsmittel wieder getrennt. Danach wird das Öl durch Reinigung, Entschleimung, Bleichung und ggf. Entsäuerung raffiniert und/oder weiter verarbeitet, gelagert und in Fässern, Containern, Tankwagen oder Tankschiffen abtransportiert. Eine ausführliche Darstellung der Pflanzenölgewinnung erfolgt in Kapitel 4.1.

2.2 Eigenschaften des Rizinusöls

Rizinus liefert ein geruchloses, zähflüssiges, nicht trocknendes Öl, das in naturbelassenem Zustand einen zunächst milden, später unangenehmen Geschmack hat und gelb, gelb-grün bis gelb-braun ist, in raffiniertem Zustand auch klar. Gegenüber anderen Pflanzenölen zeichnet es sich durch seine Unverdaulichkeit, seine Löslichkeit in Alkohol, seine hohe Hygroskopie und seine außerordentlich hohe Viskosität aus sowie durch den hohen Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren, die zudem eine Hydroxylgruppe aufweisen⁴.

Rizinusöl wird vorwiegend in folgenden Aufbereitungsformen bzw. Qualitätsklassen angeboten:

- Naturbelassenes (natives), nichtraffiniertes Öl (Naturöl, Rohöl)
- Technische Öle zweiter und dritter Klasse (Commercial Grade, hoher Hexananteil)
- Technisches Öl erster Klasse (First Special Grade, FSG, No. 1)
- DIN-Qualität nach DIN 55939 (Pale Pressed Oil, helles Öl)
- Technische Öle mit verringerter Säurezahl (low Free Faty Acid, FFA)

³ Beim Kaltpressen werden (bezogen auf die Samenmasse) 30 bis 36 % Öl gewonnen und beim Warmpressen weitere 8 bis 12 % (ROTH und KORMANN, 2000)

⁴ Weiterführende Informationen und Forschungsergebnisse zu den Eigenschaften und zur Verwendung von Rizinusöl finden sich u.a. in ANANYEVA und RUDYUK, 1978; ANOSIKE und EGWUATU, 1980; VETELKIN et al., 1980; NASIRULLAH und NAGARAJA, 1987; HARA-NISHIMURA, 1993; HAYES, CARLSON und KLEIMANN, 1996; BORSCH-JENSEN, et al., 1997; KHASHIMOV und YULDASHEV, 1998; MACHADO, et al., 1998; ALI, 2002; RODRIGUES, OLIVEIRA und FONSECA, 2002; TARITA und MANAS, 1989; TURNER et al., 2004.

- Polyurethan-Qualität mit verringertem Wassergehalt (< 0,05 %)
- Pharma-Qualität Ph Euro (nach europäischem Pharmaziestandard)
- Pharma-Qualität DAB (nach Deutschem Arzneibuch DAB)

Darüber hinaus werden verschiedene Rizinusöl-Derivate gehandelt, wie z.B.

- Geblasenes Öl mit erhöhter Viskosität (17 bis 90 dPa s)
- Dehydratisiertes (trocknendes) Öl mit verringerter Hydroxylzahl (25 bis 120)
- Standöl (dehydratisiert und thermisch polymerisiert)
- Gehärtetes Öl (Hartfett, HCO, 12-HSA)

In den **Anlagen 3, 4** und **5** sind die wichtigsten Qualitätsklassen der in Deutschland verwendeten Rizinusöle und deren Derivate aufgelistet.

Zusammensetzung und chemische Struktur

Rizinusöl ist ebenso wie andere Pflanzenöle ein Triglyzerid aus verschiedenen Fettsäuren und ca. 10 % Glycerin. Die Fettsäuren bestehen aus etwa 80 bis 90 % Rizinolsäure, 3 bis 6 % Linolsäure, 2 bis 4 % Ölsäure und 1 bis 5 % gesättigten Fettsäuren⁵. In dem hohen Anteil an Rizinolsäure mit ihrem vielseitigen Wert für die Technik liegt die bisherige Bedeutung des Rizinus (**Tab. 2**).

Tab. 2: Zusammensetzung der Fettsäuren von Rizinus- und Rapsöl

Fettsäure		Anteil in %		
		Rizinusöl nach DIN 55939 (1992) %	nach BOCKISCH (1993) %	Rapsöl nach SCHUSTER (1992) %
Ricinolsäure	C 18:1-OH	86 ... 92	82 ... 90	0
Linolsäure	C 18:2	2,8 ... 6	3 ... 6	15 ... 30
Ölsäure	C 18:1	2,5 ... 4	2 ... 4	50 ... 65
Palmitinsäure	C 16:0	1 ... 1,5	1 ... 1,5	1 ... 5
Stearinsäure	C 18:0	0,5 ... 1,5	-	0,5 ... 2
Linolensäure	C 18:3	0,2 ... 0,8	0,2 ... 0,6	5 ... 13

⁵ Das Öl wird aus den Samen gewonnen, die aus ungefähr 40 bis 50 % Fett, 14 bis 22 % Rohprotein, 15 bis 18 % Rohfaser, 4 bis 8 % Wasser, 2 bis 3 % Asche (und ca. 8 % N-freie Extraktionsstoffe) bei 89 – 96 % organischer Substanz bestehen. Außerdem sind zwei Alkaloide enthalten: 0,03 bis 0,15 % Ricinin und etwa 3 % Ricin, blutagglutinierende, allergisch wirkende Stoffe, die zu Augenentzündungen führen und dessen Giftigkeit die des Cyankali übertrifft. Die Alkaloide gehen jedoch beim Pressen nicht in das Öl über, sondern verbleiben in den Pressrückständen (vgl. Kap. 3.2). Daneben ist auch ein fettspaltendes Enzym, die Rizinuslipase, vorhanden. Diese kann durch Erhitzen zerstört werden, so dass so behandeltes Rizinusöl recht beständig ist (LOSSNER, 1972; SCHUSTER, 1992; BOCKISCH, 1993).

Rizinusöl weist damit im Vergleich zu anderen Pflanzenölen einen sehr hohen Anteil an einer einfach ungesättigten Fettsäure (18:1) auf. Ein ähnlich hoher Anteil wird nur noch im Öl der HO-(Heigh-Oleic)-Sonnenblumen erreicht (hier jedoch Ölsäure). Beim Rizinusöl handelt es sich um Rizinolsäure (12-Hydroxy-9-octadecensäure, auch als Oxyfettsäure bezeichnet), der einzigen in natürlichen Pflanzenölen vorkommenden ungesättigten Fettsäure mit einer Hydroxylfunktion am Kohlenstoffatom 12 (**Abb. 2**). Der Gegenwart dieser Hydroxylgruppe (Wasserstoffbrückenbindung) wird die außerordentliche hohe Viskosität des Rizinusöls zugeschrieben.

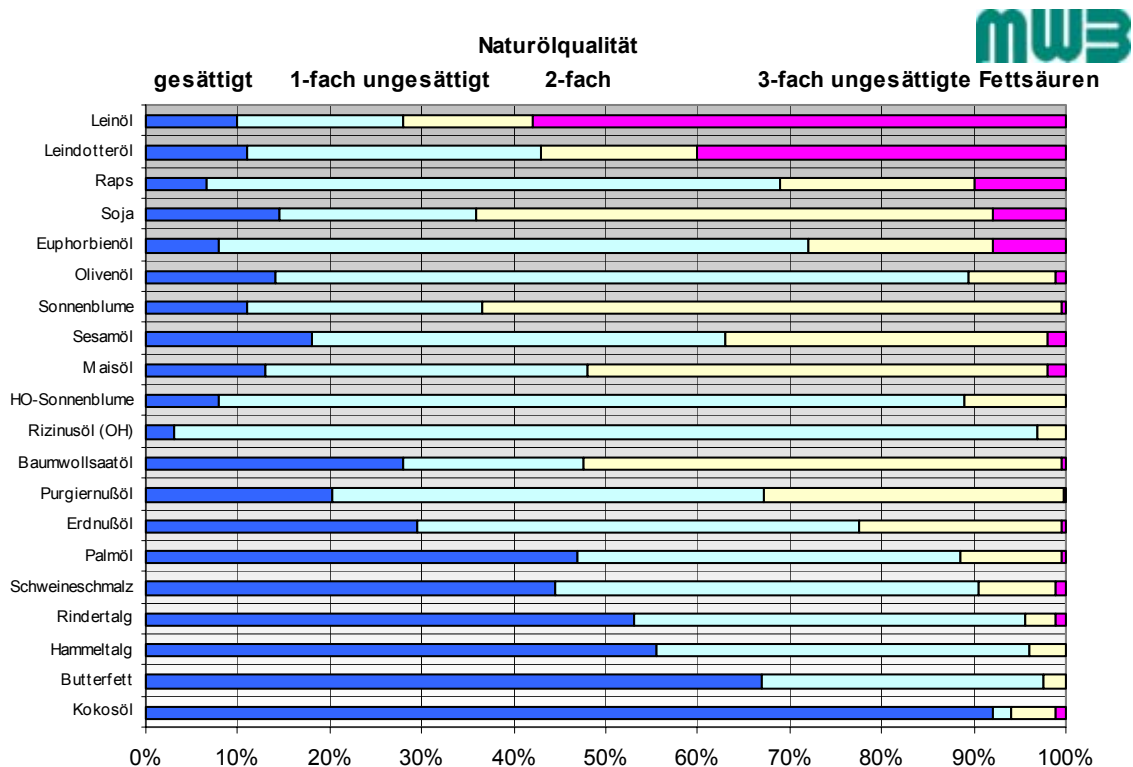


Abb. 2: Fettsäurespektren von Pflanzenölen nach MWB 2005

Technisch-physikalische Eigenschaften

Rizinusöl ist u.a. in Alkohol, Spiritus, Diethylether, Chloroform und Eisessig löslich. Es ist das einzige Öl, das sich in Ethanol sehr leicht löst und in jedem Verhältnis mischbar ist. In Erdöl, Benzin und ähnlichen Stoffen ist es nicht oder nur schwer löslich (KREMER-PIGMENTE, 2004). Neben der außerordentlich hohen Viskosität unterscheidet sich Rizinusöl auch durch die hohe Dichte (0,95 bis 0,97 g/cm³; Molekulargewicht 927 g/mol) und die hohe Hydroxyl-Zahl (> 160) von den anderen pflanzlichen Ölen (LOSSNER, 1972). Mit einer Jodzahl von < 90 gehört Rizinusöl zu den nicht trocknenden

Ölen⁶. Es trocknet nicht, aber an der Luft verdickt es (ohne einen Film zu bilden), was zur Erhöhung der Viskosität genutzt wird (geblasenes Öl). Es lässt sich problemlos zumindest ein Jahr lagern, für pharmazeutische Zwecke bis zu einem halben Jahr; beides allerdings unter Luftabschluss, falls die Aufnahme von Wasser verhindert werden muss (DIEDERING, 2005). Wie Untersuchungen von GERING et al. (1982) zeigen, ist die Oxidationsstabilität von Rizinusöl etwa 10 mal besser als die von Rapsöl, d.h. es kann ohne Luftabschluss problemlos längere Zeit gelagert werden (was für die Verwendung als Kraftstoff wesentlich ist). Aus Tests zur Alterungsbeständigkeit durch thermische und oxidative Belastung ist allerdings bekannt, dass nichttrocknendes Rizinusöl schlechter abschneidet als halbtrocknendes Rapsöl. Die Ursache ist hier offensichtlich die Reaktion der OH-Gruppe im Molekül. Der hohe Anteil an Ricinolsäure verleiht dem Öl auch eine gewisse optische Aktivität (HOLZT, 2004).

Tab. 3: Ausgewählte chemisch-physikalische Eigenschaften von Rizinusöl und anderen Pflanzenölen nach diversen Quellen

Parameter		Rizinusöl	Rapsöl	Sonnenblumenöl
Dichte	kg/m ³	950 ... 974	910 ... 920	920 ... 927
Siedepunkt	°C	313	-	-
Flammpunkt	°C	229 ... 260	246 ... 317	274 ... 316
Heizwert	MJ/kg	37,2 ... 39,5	37,3 ... 40,5	37,1 ... 39,8
Wassergehalt	%	0,15 ... 0,30	0,01 ... 0,075	-
Kinematische Viskosität ¹⁾	mm ² /s	240 ... 300	37 ... 74	34 ... 66
Dynamische Viskosität	mPa s	750 ... 1100	-	-
Brechungsindex	-	1,479 ... 1,585	-	-
Jodzahl	g/100 g	82 ... 90	94 ... 120	113 ... 144
Verseifungszahl	mg KOH/g	175 ... 203	167 ... 180	186 ... 194
Unverseifbares	%	0,2 ... 0,8	-	-
Aschegehalt	%	≤ 0,01	0,005 ... 0,01	≤ 0,01
Säurezahl	mg KOH/g	< 1 ... 4	1 ... 2	1 ... 2
Hydroxylzahl	-	160 ... 168	-	-

1) 38 bzw. 40 °C (Umrechnung in Stokes: 1 St = 1cm²/s = 100 mm²/s)

Quellen: LOSSNER (1972), BATEL et al. (1980), GOERING et al. (1982), GUNSTONE (1986), BONJEAN (1988), DIN 55939 (1992), BOCKISCH (1993), DEMIRABAS (1998), CIGR HANDBOOK (1999), KNOTHE et al., RK-QUALITÄTSSTANDARD (2000), ROTH und KORMANN (2000), ICOA-STANDARD (2003), MAURER (2004)

Die für den Handel verbindlichen technischen Eigenschaften des Rizinusöls sind in folgenden Standards genannt bzw. festgelegt:

- ICOA-Standard (International Castor Oil Association, s. **Anlage 4**)
- DIN 55939 (Deutsche Industrie-Norm, s. Anlage 3)

⁶ Zum Vergleich: Rapsöl mit der mittleren Jodzahl 114 ist ein halbtrocknendes Öl. Lein- und Sojaöl mit 192 und 143 sind trocknende Öle.

- CAS 8001-79-4 (Chemical Abstract Service)⁷

Der ICOA-Standard ist dem deutschen DIN-Standard relativ ähnlich. Die wichtigsten technischen Eigenschaften des Rizinusöls sind im Vergleich zu Rapsöl in Tabelle 3 dargestellt (**Tab. 3**). Weitere für den technischen Einsatz relevante Parameter von Rizinus- und anderen Pflanzenölen finden sich in den **Anlagen 2 bis 5**.

Wie auch bei anderen Ölen ist die Viskosität des Rizinusöls in hohem Maße von der Temperatur abhängig. Bei Temperaturen über 60 °C verringert sie sich im Gegensatz zu Rapsöl allerdings nur geringfügig (**Abb. 3** und **Abb. 16**).

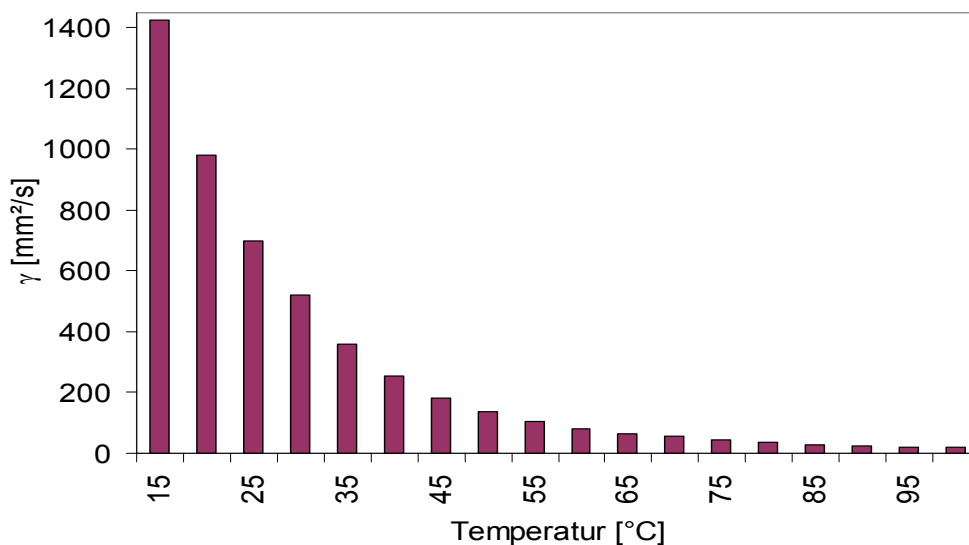


Abb. 3: Kinematische Viskosität des Rizinusöls in Abhängigkeit von der Temperatur nach Alberdingk Boley GmbH (DIEDERING, 2005)

Pharmazeutische Eigenschaften

Rizinusöl wird – da es wegen des hohen Anteils an Ricinolsäure nicht bzw. schwer verdaulich ist und abführend wirkt – seit Alters her in der Medizin als Abführmittel angewendet. Ricini oleum raffinatum wirkt zuverlässig abführend, ohne dabei die Darm- und Magenschleimhaut zu reizen. Es wirkt nur im Dünndarm, wo es in Glycerin und Ricinolsäure aufgespalten wird und die Darmbewegung anregt; zudem machen die nicht emulgierten Bestandteile des Öls die Darmwand gleitfähiger und unterstützen so die Entleerung. Dabei ist zu beachten, dass Rizinusöl nur bei Personen wirkt, bei denen die Fettverdauung in Ordnung ist, da das Öl - wie alle anderen Fette und Öle auch - unter Einwirkung von Galle und Pankreassaft emulgiert und verseift wird. Aus der Naturheilkunde ist darüber hinaus bekannt, dass Rizinusöl als homöopathische Potenzierung bei z.B. Gallensteinleiden oder Durchfall Anwendung findet (BIOMEDICUS, 2004).

⁷ In diesem Datenblatt der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie findet sich auch eine ausführliche Darstellung der für eine industrielle Verwertung wesentlichen umweltrelevanten Eigenschaften von Rizinusöl.

3 Verwendung und Vermarktung von Rizinus

3.1 Verwendung von Rizinusöl

Pflanzliche Öle und Fette haben in Deutschland nicht nur für die Ernährung Bedeutung, sondern auch für die Energiegewinnung und Oleochemie. Von ca. 800.000 t Non-Food/Non-Feed-Pflanzenöl (vorwiegend Rapsöl) flossen im Jahr 2003 rund 45.000 t in die Herstellung von Schmierstoffen und Hydraulikölen und ca. 110.000 t in die Oleochemie. Die übrige Menge wurde für die Herstellung von Biodiesel genutzt (vgl. **Abb. 7**).

An diesem Anwendungsumfang hat Rizinusöl nur einen geringen Anteil. Als Speiseöl ist es nicht geeignet. Traditionell findet es allerdings in der Pharmazie Verwendung. In jüngerer Zeit beträgt der für medizinische Zwecke genutzte Teil der Gesamt-Rizinusölproduktion jedoch keine 10 % mehr. Demgegenüber ist der Einsatz von (gehärtetem) Rizinusöl als Schmiermittel für thermisch hochbeanspruchte Maschinenelemente angestiegen. Auf Grund seiner hohen Viskosität und Hitzebeständigkeit ist es ein ausgezeichnetes Schmiermittel für Motoren und Turbinen mit hoher Drehzahl und eignet sich für hydraulische Anlagen. Vor allem aber wird es zunehmend in der Chemie, Kosmetik und in verschiedenen Industriezweigen verwendet⁸, wobei neuerdings auch dem Aspekt Rechnung getragen wird, dass es sich hier um einen nachwachsenden Rohstoff handelt. In Gebieten ohne elektrische Stromversorgung kommt dem Rizinusöl auch als Leuchtöl eine gewisse Bedeutung zu, weil es eine weiße und nicht rußende Flamme liefert.

Aus der Literatur sind insgesamt über 700 Verwendungsmöglichkeiten von Rizinusöl bekannt (KÜCHENAPOTHEKE, 2005; KREMER-PIGMENTE, 2004; ÄRZTEBLATT, 2004; WIKIPEDIA, 2004; BIOMEDICUS, 2004; BOTANICUS, 2004; HEESS, 2004; ALBERDINGK BOLEY, 2005)⁹, von den nachfolgend einige aufgeführt sind (s. auch **Abb. 4**):

⁸ Ein großer Teil des Rizinusöls dient zur Herstellung des Textilhilfsmittels „Türkischrotöl“ (sulfatiertes Rizinusöl) und von trocknenden Ölen. Dieses wurde notwendig, als die natürliche Gewinnung von trocknenden Ölen den Bedarf der Lack- und Farbenindustrie nicht mehr zu decken vermochte. Durch Abspaltung von Wasser aus der Ricinolsäure lässt sich eine weitere Doppelbindung in das Molekül einführen und dadurch ein trocknendes Öl herstellen, dessen Eigenschaften denen des Leinöls nicht nachstehen. Dieses Umwandlungsprodukt wird Ricinenöl genannt. Weitere Umwandlungsprodukte des Rizinusöls sind z.B. Caprylalkohol, Sebacinsäure, Undecylensäure und epoxydierter Ricinolsäure. Es befindet sich auch ein auf der Basis von Rizinusöl hergestelltes Superpolyamid im Handel, das wie die anderen Produkte dieser Gruppe zäh und elastisch ist und dabei eine sehr leichte und wasserabweisende Faser darstellt.

⁹ Siehe auch Fußnote 4.

Pharmazie

- Abführmittel, äußerlich gegen Warzen und Ringelflechte
- Antirheumatikum, schmerzlinderndes Mittel
- Wehenauslösendes, gebärmutterosenkendes Mittel

Kosmetik

- Grundstoff für Lippenstifte, Eyeliner, Haaröl, Shampoos, Haarbrillantine (bis 30 %)
- Herstellung von Seifen
- Herstellung von sulfurierten Ölen und Haarölen

Chemie

- Grundstoff in Kunststoffindustrie (Polyol, PUR-Kunststoffe, Schäume, Gießharze)
- Weichmacher in der Plastikindustrie (z.B. Sebacinsäure, 12- Hydroxystearinsäure)
- Grundstoff für Gummi-, Textil- und Lederindustrie (z.B. Polyamid 11, Linoleum)
- Grundstoff für Reinigungsmittelindustrie
- Grundstoff für Faserindustrie (Faseroptik, kugelsicheres Glas, Knochenprothesen)
- Grundstoff für die Druckindustrie (Druckfarben, lithografischer Firnis, Öltuch)
- Grundstoff für Farbindustrie (Rizinen-Alkydharz, Polyurethanlack, Klarlack, Klebstoff, Firnis, Parkettöl, Autolack, Grundierung)

Technik

- Schmiermittel für Feinmechanik, Elektronik, hydraulische Pumpen etc.
- Schmiermittel in Flugzeug-, Schiffs- und Fahrzeugmotoren (Modellbau, Mopeds)
- Komponente des Bohröls
- Schmiermittel für Raumraketen bei extrem niedrigen Temperaturen
- Bremsflüssigkeitszusatz

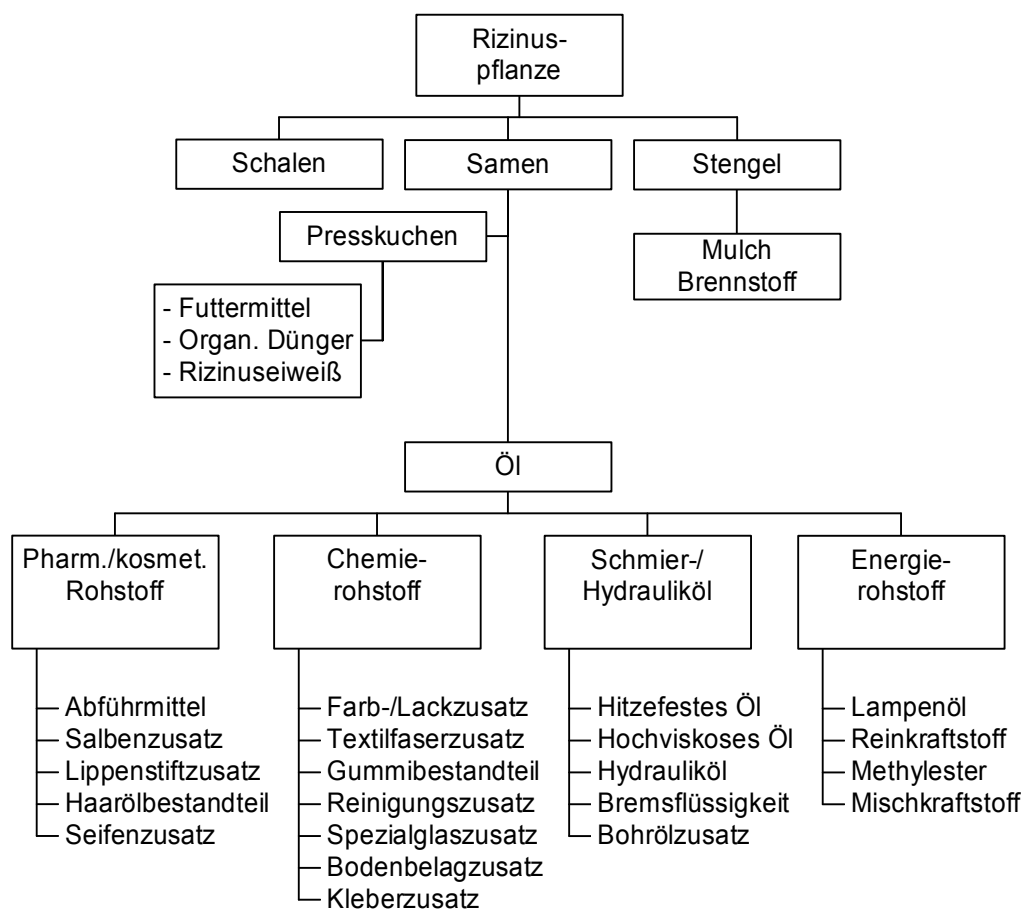


Abb. 4: Aktuelle und potenzielle Nutzung von Rizinus

3.2 Verwendung der Nebenprodukte der Rizinusölproduktion

Die Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Pflanzenölproduktion ist im hohen Maße von der Verwertung der Rückstände und Koppelprodukte abhängig. Bei der Rizinusölproduktion sind dies vor allem Ernterückstände (Stängel und Samenkapseln) und Pressrückstände (Presskuchen), später ggf. auch Veresterungsrückstände¹⁰ (Glyzerin).

Verwertung der Ernterückstände bzw. -koppelprodukte

Die oberirdische Pflanzenmasse, also die abgeernteten Stängel, werden üblicherweise gemulcht, z.T. gehäckselt und in den Boden eingearbeitet. In einigen Regionen werden die Stängel und insbesondere auch die Samenkapseln als Brennstoff genutzt. Sollte bei intensivem Anbau eine Humus- bzw. Nährstoffanreicherung nicht erforderlich oder die Einarbeitung ungünstig sein (Schädlinge), könnten die Ernterückstände ähnlich wie bei

¹⁰ Siehe Kapitel 4.3.

Baumwollstängeln zu marktfähigen (Brikett-) Brennstoffen aufbereitet werden¹¹ (EL SAEIDY, SCHOLZ und HAHN, 2003).

Ergänzend sei erwähnt, dass die frischen Blätter der Rizinuspflanze in manchen Ländern als Milchbildungskraut bei stillenden Müttern verwendet werden (BIOMEDICUS, 2004).

Verwertung der Pressrückstände bzw. -koppelprodukte

Neben dem Öl enthalten die Samen von Ölpflanzen Eiweiß, Kohlenhydrate und Rohfasern. Nach dem Abpressen des Öls verbleiben (je nach Pressverfahren) diese Bestandteile mehr oder weniger gut erhalten in den Pressrückständen, weshalb sie häufig als Futter- und Düngemittel Verwendung finden (**Tab. 4**).

Tab. 4: Wichtige Bestandteile von Ölsaaten in % nach BATEL et al. (1980), LAKSHMINARAYANA (1987)

Ölsaart	Trockensubstanz	Öl/Fett	Eiweiß	Kohlenhydrate	Rohfaser
Rizinussaat	92 ... 94	40 ... 55	21	-	-
Rapssaat	92	42	21	19	6
Sonnenblumen	92	26	15	19	27
Leinsamen	88	31	23	21	7
Sojabohnen	88	17	33	26	7
Erdnusskerne	95	47	26	16	3

In den Samen von Rizinus finden sich, wie bereits erwähnt, giftige Eiweiße, unter anderem das hochgiftige Lectin Rizin¹². Diese Giftstoffe sind nicht fettlöslich und bleiben daher beim schonenden Pressen nicht im Öl, sondern im sogenannten Presskuchen (Rizinusschrot) zurück. Daher wurde dieser in der Vergangenheit vornehmlich als Brennstoff oder Düngemittel benutzt. Rizinuspresskuchen weist immerhin einen Gehalt von 5,9 % N, 2,8 % P und 2,3 % K auf (LOSSNER, 1972). Die Mineralisierung des relativ hohen N-Anteils erfolgt ziemlich schnell, wobei ein niedriger Ölgehalt diesen Prozess noch beschleunigt. Die Pressrückstände finden insbesondere im Obst- und Weinbau (WIKIPEDIA, 2004) Verwendung. Außerdem sind sie als organischer N-Dünger im Ökolandbau zugelassen¹³. Allerdings gab es verschiedentlich Probleme durch Hunde, die angeblich Dünger-Mischungen aus Rizinusschrot und Hornspäne gern aufnehmen (DIEDERING, 2005).

¹¹ Für Rizinusstängel werden üblicherweise keine Erlöse erzielt, und wie EL SAEIDY (2004) für Baumwollstängel nachgewiesen hat, ist die Brikettierung wirtschaftlich nur dann konkurrenzfähig, wenn die Rohstoffkosten mit Null angesetzt werden. Beim Mulchen ist eine gewisse Einsparung an Düngemittelkosten theoretisch möglich, bedarf jedoch gezielter Untersuchungen.

¹² Vgl. Fußnote 2.

¹³ In Deutschland werden für diesen Dünger Erlöse von 90 bis 200 € pro t abgesacktes Material erzielt.

Da in den Ölmühlen mitunter erhebliche Mengen am Rizinuspresskuchen anfallen, hat es nicht an Versuchen gefehlt, die in diesem enthaltenen Giftstoffe zu beseitigen oder unschädlich zu machen. Die in der Literatur empfohlenen Entgiftungsreaktionen bedienen sich zumeist des Erwärmens in einem feuchtem Medium durch einmaliges Erhitzen auf 125°C oder zweimaliges Kochen mit jeweils dreifachem Wasservolumen mit z.T. Zusatz von Chemikalien und basieren auf der Denaturierung bzw. der Hydrolyse des Toxineinweißes. Obgleich Fütterungsversuche mit entgiftetem Presskuchen an Küken und Rindern durchgeführt wurden, haben Prüfungen ergeben, dass der biologische Wert dieses Eiweißes nur mäßig ist. Geflügel verträgt den Presskuchen allerdings besser als Säugetiere (REHM und ESPIG, 1984). Eine andere Möglichkeit der Entgiftung ist die Züchtung Ricin freier Samen (KNAPP, 1943; SCHUSTER, 1992).

Die Samenproteine des Rizinus bestehen vornehmlich aus Glutaminsäure und wenig Tryptophan. Deshalb ist die Verwendung des Rizinuspresskuchens als Rohstoff für die L-Glutaminsäuregewinnung vorgeschlagen worden. Weitere Möglichkeiten, die bei der Rizinusölgewinnung anfallenden Rückstände rationell zu nutzen, sehen vor, das dem Casein ähnliche Eiweiß mit verdünnter NaOH zu extrahieren und anschließend mit sauren Agenzien auszufällen. Dieses Rizinuseiweiß lässt sich zu Herstellung von Tempera-farben, ölgebundenen Wasserfarben, Holzkleber, Plasten und Textilfasern verwenden.

3.3 Internationaler Pflanzenölmarkt

Am internationalen Ölsaatenhandel hat Rizinus lediglich einen Anteil von unter 0,15 %. Daher führen die bekannten Pflanzenölstatistiken wie Oil World (OIL WORLD, 2005) die Produktions-, Handels und Verbrauchszahlen von Rizinusöl nur am Rande auf und die Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle (ZMP) Bonn sowie die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (ufop) Berlin überhaupt nicht. Dennoch ist es ein auf mehreren Kontinenten produziertes, weltweit gehandeltes wertvolles Pflanzenöl (**Anlagen 6 und 7**).

Produktion

Weltweit werden gegenwärtig etwa 1,3 Mio t Rizinussamen pro Jahr produziert, was bei einer angenommenen mittleren Ölausbeute von 42 % etwa 550.000 t Öl entspricht¹⁴. Damit ist die Rizinussamenproduktion seit Beginn der 70er Jahre (ca. 0,8 Mio t/a) gestiegen, unterliegt aber gewissen jährlichen Schwankungen von z.T. über 20 %. Diese Schwankungen werden vor allem durch Unwetter in den Hauptanbaugebieten hervorgerufen.

¹⁴ Der Oil World Report nennt eine geringere Welt-Rizinusölproduktion von 493.000 Mio t/a (2004/2005), was an der Erfassungsmethodik oder an der angenommenen Ölausbeute liegt (Anlage 7).

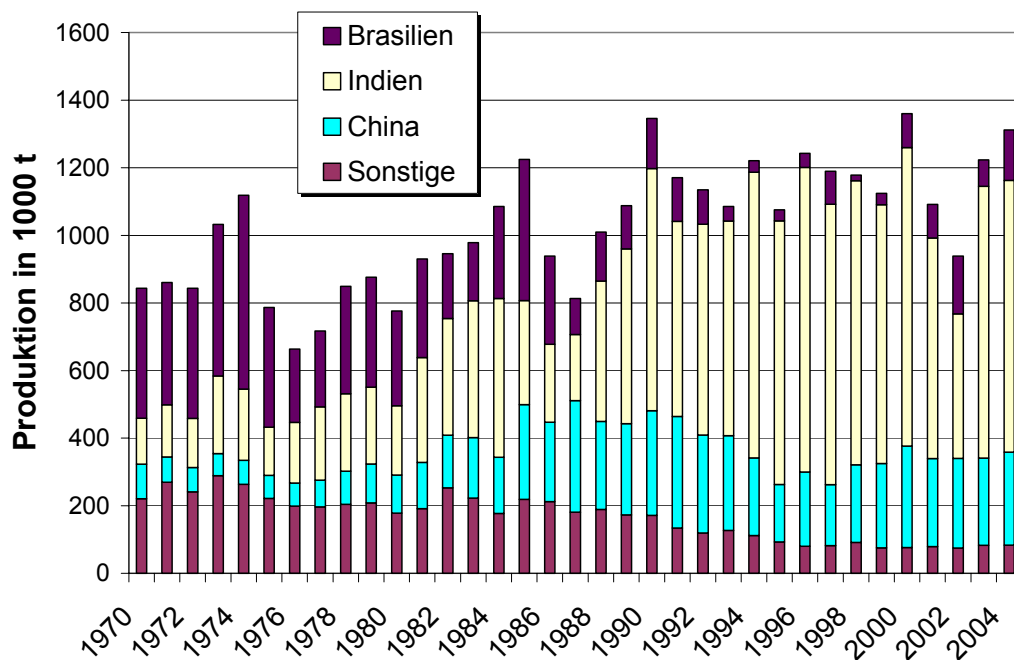


Abb. 5: Weltproduktion von Rizinussamen nach FAO (2005)

Die weltweit größten Rizinusproduzenten sind Indien, China und Brasilien. In diesen drei Ländern werden fast 95 % des gesamten Rizinusöls hergestellt¹⁵. Indien ist mit derzeit ca. 60 % der Weltproduktion mit Abstand der bedeutendste Produzent. Das war nicht immer so. Anfang der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts hatte Brasilien mit über 60 % (0,3 bis 0,6 Mio t/a Samen) diese Position inne. Doch Mitte der 80er Jahre ging in Brasilien die Produktion erheblich zurück und erreichte 1998 seinen absoluten Tiefpunkt von 0,02 Mio t bzw. ca. 2 % der Weltproduktion. Seitdem steigt sie wieder in begrenztem Maße und wies im vergangenen Jahr etwa 0,13 Mio t Samen bzw. 54.000 t Öl (ca. 10 % der Weltproduktion) auf (**Tab. 1** und **Abb. 5**).

Handel

Etwa die Hälfte der Rizinusöl-Weltproduktion wird exportiert. Davon liefert Indien allein über 80 % und beherrscht daher den Markt weitgehend (**Anlage 7**). Mehr als 30 international agierende Großhändler haben sich in der im Jahre 1957 gegründeten International Castor Oil Association (ICOA) zusammengefunden. Sie realisieren über 90 % des gesamten Rizinusöl-Welthandels (ICOA, 2005).

In Deutschland hat sich die Fa. Alberdingk Boley GmbH in Krefeld zum führenden Großhändler und Verarbeiter für Rizinusöl entwickelt (KRÜGER, 2005). Mit einer Verar-

¹⁵ In Europa, vornehmlich in Rumänien und Spanien, werden nach SCHUSTER (1992) heute lediglich etwa 21.000 ha angebaut mit einem Ertrag von 9.000 t Samen. 1961 bis 1965 betrug hier der Anbau noch 27.000 ha und die Samenproduktion 20.000 t.

beitungskapazität von über 40.000 t pro Jahr gehört diese Firma, die im Übrigen auch ein Mitglied des ICOA ist, zu den weltweit fünf führenden Rizinusgroßhändlern. Die Anschriften dieses und zweier weiterer deutschen Großhändler bzw. -verarbeiter von Rizinusöl sind nachfolgend aufgeführt:

- Alberdingk Boley GmbH¹⁶
Düsseldorfer Str. 53, Postfach 111446/111448
47829 Krefeld
Tel.: +49 (0)2151-528-0 Fax.: +49 (0)2151-573643
Internet: www.alberdingk-bolely.com
- Gustav Heess¹⁷
Oleochemische Erzeugnisse GmbH
Postfach 30 05 99
D-70445 Stuttgart
Tel.: +49(0)711-81490 00 Fax: +49(0) 711-81490 09
Internet: www.heess.de
- Lechner & Crebert
Chemische Farbig GmbH
Düsseldorfer Straße 17-19
68219 Mannheim-Rheinau
Tel.: +49 (0)621-89 50 35 Fax: +49(0)621-89 52 07
Internet: www.lechner-crebert.de

Rizinusöl wird gehandelt als

- Technische Rizinusöle (First Special Grade, Pale Pressed Oil, DIN-Qualität u.a.)
- Pharmazeutisch genutzte Rizinusöle (kalt gepresst)
- Rizinusöl-Derivate (geblasen, dehydratisiert u.a.)

Naturbelassenes Rizinusöl (Naturöl, Rohöl) und technische Öle zweiter und dritter Klasse (Commercial Grade) werden in Europa kaum gehandelt (s. auch Kap. 2.2).

Im Gegensatz zu dem gesamten Ölsaatenmarkt, der sich in den letzten zehn Jahren etwa verdoppelt hat (**Anlage 6**), stagniert der Rizinuswelthandel mehr oder weniger mit lediglich leicht steigender Tendenz. Da Rizinus ein nachwachsender Rohstoff ist, deren Anwendungsumfang weltweit stetig zunimmt, wird jedoch eine weitere Steigerung in den nächsten Jahren erwartet (DAVIDS, 2005). Der Gesamtexport von Rizinusöl schwankte in den vergangenen fünf Jahren zwischen etwa 200.000 und 270.000 t/a, wovon Indien über 80 % und Brasilien unter 5 % realisierten (**Anlage 7**).

¹⁶ Die Fa. Alberdingk Boley GmbH bezieht Rizinusöl zurzeit ausschließlich aus Indien. Sie verfügt auch über eigene Press- und Extraktionskapazität und ist damit die letzte Rizinussamen verarbeitende Ölmühle in Europa. Bemerkenswert ist, dass diese Firma von 1988 bis 1998 ein Tochterunternehmen (Boley do Brasil Oleo de Mamona Ltda - BOM) zur Rizinusölproduktion in Salvador de Bahia in Brasilien führte.

¹⁷ Die Fa. Gustav Heess kauft Rizinusöl offenbar von verschiedenen internationalen Großhändlern.

Infolge der Schwankungen der Produktion und des Exports variieren die Tagespreise für Rizinusöl erheblich und können mitunter das Doppelte des Vorjahres betragen. Das hat u.a. mit der unterentwickelten Infrastruktur der Erzeugerländer zu tun, da abgesehen von Unwetterschäden auch kleinere Störungen die Ausfuhr behindern können. Außerdem treiben Spekulanten in solchen Situationen die Preise in die Höhe.

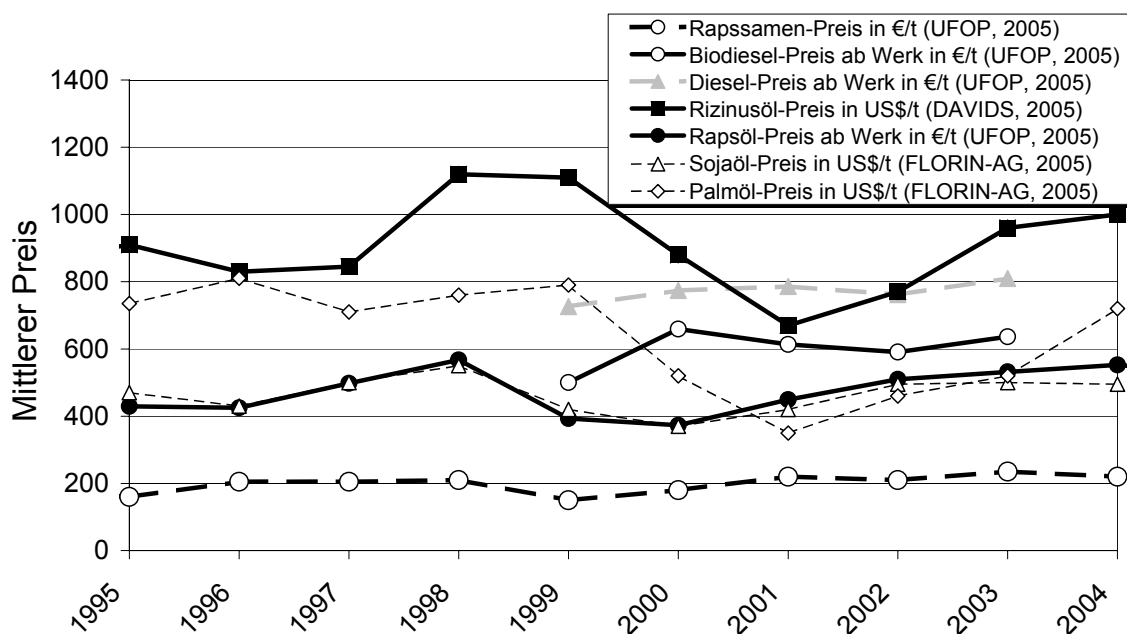


Abb. 6: Entwicklung der Preise von Rizinusöl und anderen Pflanzenölen in Deutschland

Je nach Angebot und Nachfrage lagen die Rizinusölpreise in der Vergangenheit zwischen 650 und 1.500 US-\$/t Öl ohne Zoll ex Rotterdam¹⁸. Der Preisdurchschnitt der letzten zehn Jahre beträgt 900 US-\$/t Öl (DAVIDS, 2005). Im Januar dieses Jahres lag der Preis mit 750 US-\$/t deutlich unter dem Durchschnitt (**Tab. 5**). Doch selbst bei diesem relativ geringen Preis ist Rizinusöl bestenfalls mit Leinöl, nicht jedoch mit den für die energetische Nutzung in Frage kommenden Pflanzenölen konkurrenzfähig. Im Durchschnitt der letzten zehn Jahre war in Deutschland das Rapsöl nur reichlich halb so teuer wie Rizinusöl (**Abb. 6**).

¹⁸ Zum Vergleich: Nach den ICOA-News (2005) beträgt der Rizinusölpreis in Indien derzeit 630 US-\$/t. Die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. nennt für November 2004 Preise von 1.120 €/t für Rizinusöl, 1.196 €/t für Leinöl, 725 €/t für Sonnenblumenöl, 699 €/t für Rapsöl, 560 €/t für Sojaöl und 418 €/t für Palmöl (HOLZT, 2004). LABALETTE (1996) kalkuliert für den Anbau in Europa einen Samenpreis von 400 US-\$/t, was einem Ölpreis von über 1000 US-\$/t entsprechen würde.

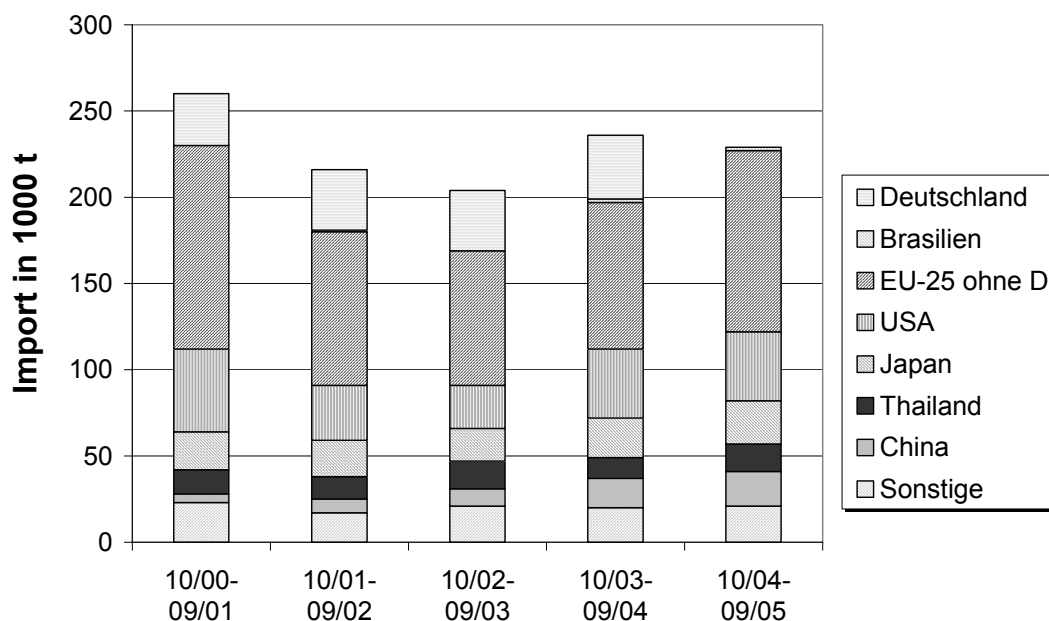
Tab. 5: Aktuelle Großhandelspreise für Pflanzenöle¹⁹ in Europa (KRÜGER, 2005)

Pflanzenöl	Preis ¹⁾ in €/t
Rizinusöl	750,-
Rapsöl naturell	550,-
Rapsöl raffiniert	570 ... 580,-
Sonnenblumenöl raffiniert	550 ... 570,-

1) Preise vom 11.01.2005 ex Hafen Rotterdam (fca) bzw. Hamburg

Verbrauch

Seit Beginn dieses Jahrtausends ist der Verbrauch an Rizinusöl mehr oder weniger konstant und liegt zwischen 465.000 bis 695.000 t pro Jahr. Hauptverbraucher sind die drei großen Produzenten, Indien, China und Brasilien, die fast 95 % des gesamten Rizinusöls produzieren und über 50 % selbst verbrauchen. Weitere relevante Verbraucher sind die EU, insbesondere Deutschland, die USA, Japan und Thailand (**Anlage 7**).

**Abb. 7:** Wichtigste Importländer für Rizinusöl nach OIL WORLD (2005)

¹⁹ In Kleinabpackungen ist Rizinusöl, aber auch anderes Öl natürlich erheblich teurer. So kosten derzeit eine 100 ml-Packung Rizinus etwa 1,50 € und Raps 1,00 €, und eine 1 l-Packung Rizinus etwa 10,00 € und Raps 7,00 € (BACCAROSE, 2004).

In Deutschland lag Anfang der 80er Jahre der Import von Rizinus-Samen bei ca. 25.000 bis 30.000 t/a und der Import von Rizinusöl bei 12.000 bis 15.000 t/a (KAMPMANN 2005), insgesamt also etwa zwischen 30.000 und 36.000 t Öl pro Jahr²⁰. Damit hat sich in den letzten 20 Jahren der Import und der Verbrauch an Rizinusöl in Deutschland kaum verändert. Mit 92 bis 95 % ist Indien der Hauptlieferant. Nur geringe Anteile kommen aus den übrigen EU-Staaten und aus Brasilien (**Abb. 7** und **Anlage 7**).

3.4 Marktchancen brasilianischen Rizinusöls in Deutschland und Europa

Rizinusöl gehört zu den Produkten, deren Markt langfristig stabil ist und vergleichsweise geringe Steigerungsraten aufweist. Seit Beginn der 90er Jahre haben sich - abgesehen von kurzfristigen Schwankungen - weltweit weder die Anbauflächen (ca. 1,2 Mio ha) noch die Produktion (ca. 1,1 Mio t Samen) verändert (vgl. **Tab. 1** und **Abb. 5**). Für die Zukunft wird zwar ein leicht steigender Verbrauch erwartet (DAVIDS, 2005), der insbesondere auf den ökologischen Vorzügen dieses Öls beruht, dennoch dürfte es für Anbieter schwierig werden, neue Marktanteile zu gewinnen. Das gilt auch für Brasilien, obwohl dieses Land vor 20 Jahren noch Marktführer war und deutsche Firmen sogar Zweigniederlassungen dort betrieben haben²¹.

Es gibt nur eine Chance, gewisse Marktanteile wieder zurück zu gewinnen: Senkung des Rizinusölpreises auf deutlich unter den Weltmarktpreis, im Mittel also unter 900 US \$/t ex Rotterdam (**Abb. 6**) bei Einhaltung der internationalen Qualitätsnormen²² (**Anlagen 3** und **4**).

Wenn der Rizinusölpreis unter den Rapsölpreis von etwa 400 bis 600 €/t gesenkt würde, könnte ein beträchtlich größeres Marktpotenzial in Europa, insbesondere in Deutschland, erschlossen werden. Das setzt allerdings voraus, dass Rizinusöl für die Herstellung von qualitätsgerechtem Biodiesel geeignet ist. Wäre dies der Fall, was derzeit noch offen ist (vgl. Kap. 4), könnte allein nach Deutschland u.U. ein mehrfaches der derzeitigen brasilianischen Rizinusölproduktion (68.000 t/a) verkauft werden. Denn der Verbrauch an energetisch genutztem Pflanzenöl ist im Gegensatz zu stofflich genutztem Öl in den letzten zehn Jahren erheblich gestiegen. Von 1997 bis 2002 hat sich der Verbrauch an Biodiesel in Deutschland um durchschnittlich 84.000 t pro Jahr erhöht²³ (**Abb. 7**). Bedingt durch die Zielstellung der Europäischen Union bis zum Jahr 2005 2,0 % und bis 2010 5,75 % des Kraftstoffs aus Biomasse zu gewinnen, ist eine weitere Steigerung zu erwarten.

²⁰ Zum Vergleich: In Deutschland werden zurzeit insgesamt etwa 2.770.000 t/a pflanzliche Öle und Fette verbraucht, davon 1.070.000 t/a Rapsöl. Im Non-Food-Bereich werden über 700.000 t/a eingesetzt.

²¹ Vgl. Fußnote 16.

²² Mögliche deutsche Abnehmer bzw. Großhändler für Rizinusöl sind in Kap. 3.3 genannt.

²³ Der Einsatz von Biodiesel wird vor allem dadurch gefördert, dass er in den meisten EU-Ländern ganz oder teilweise von der Mineralölsteuer befreit ist. Dank dieser Mineralölsteuerbefreiung liegen die Preise von Biodiesel in Deutschland (seit 1999) im Mittel um 0,05 bis 0,15 €/l unter denen des mineralischen Diesels.

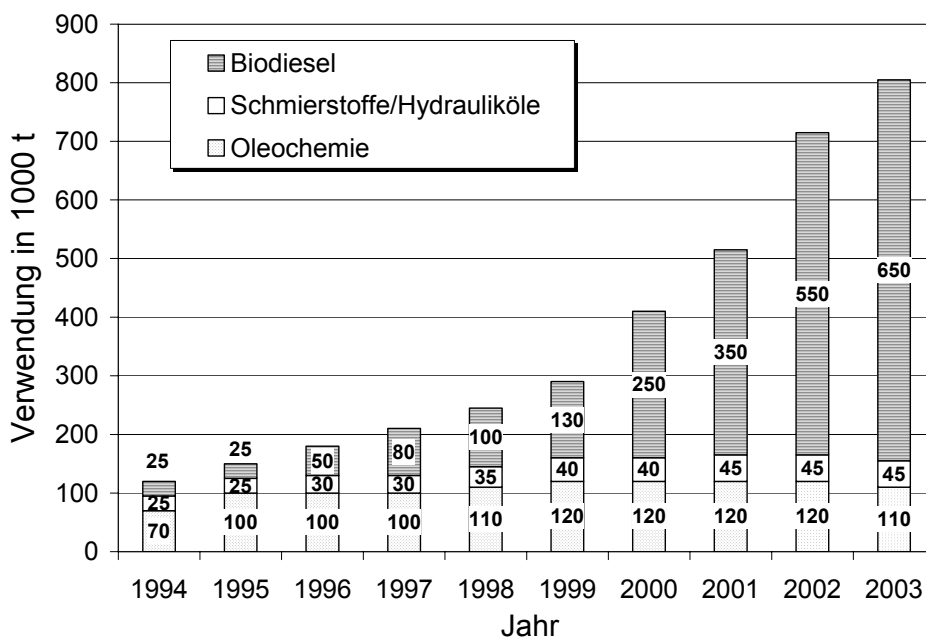


Abb. 8: Verwendung pflanzlicher Fette und Öle im Non-Food-Sektor in Deutschland nach ufop (2003)

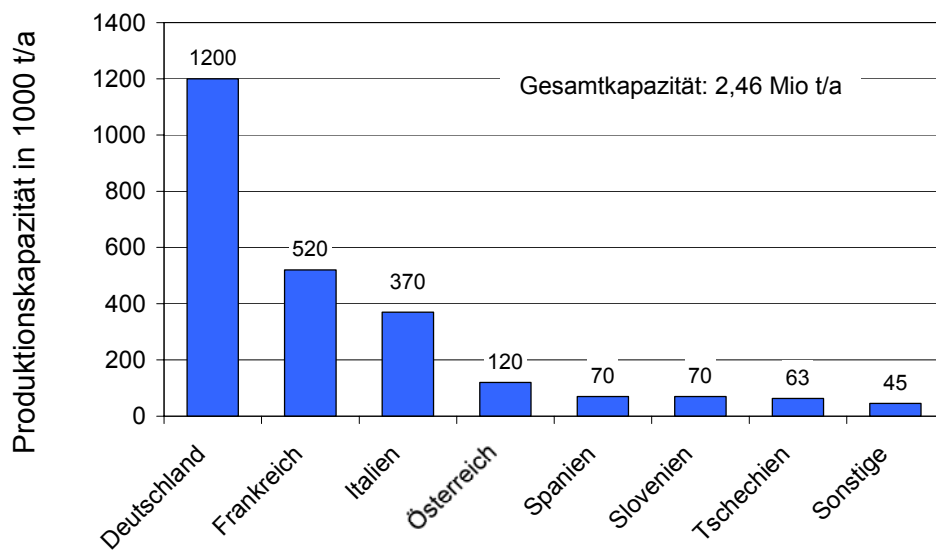


Abb. 9: Biodiesel-Produktionskapazität in Europa im Jahr 2004 nach BOCKEY (2004)

Veresterungskapazitäten für Pflanzenöle sind in Europa ausreichend vorhanden und viele Großanlagen vorteilhaft über den Wasserweg zu erreichen. Mit derzeit etwa 1,2 Mio t/a hat Deutschland²⁴ mit Abstand die größten Biodiesel-Produktions-Kapazitäten in Europa, die zudem noch weiter wachsen (**Abb. 9** und **10**).

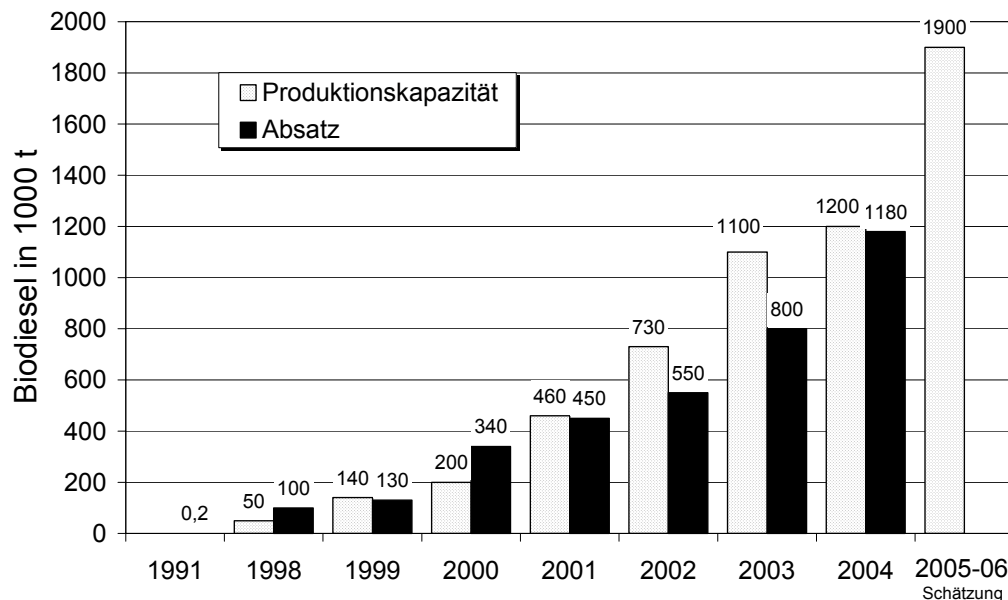


Abb. 10: Entwicklung des Absatzes und der Produktionskapazität von Biodiesel in Deutschland nach ufop/IWR (2005)

Zusammenfassend muss allerdings eingeschätzt werden, dass es einen außerordentlichen Herausforderung für die brasilianische Landwirtschaft und Industrie wäre, den gegenwärtigen von Billiglohnländern diktierten Rizinusöl-Preis um mehr als 40 % zu senken oder den Rizinusölmethylester bzw. -ethylester zum gleichen Preis und in der geforderten Qualität (DIN EN 14214) wie Rapsölmethylester in Europa anzubieten. Die Klärung dieser Frage bedarf weiterer detaillierter Untersuchungen vor Ort.

²⁴ Der Anbau von Non-food-Raps in Deutschland betrug im Jahr 2003 ca. 328.780 ha (FNR, 2005), das entspricht einem Ölertrag von ca. 350.000 bis 375.000 t. Das entspricht einem Anteil von ca. 45 % des gesamten Verbrauchs von Rapsöl für technisch-chemische und energetische Zwecke bzw. ca. 55 % des für die Produktion von Biodiesel eingesetzten Rapsöls in Deutschland.

4. Möglichkeiten der Aufbereitung und energetischen Nutzung von Rizinusöl

4.1 Gewinnung und Aufbereitung von Pflanzenölen

Die Ölgewinnung erfolgt derzeit im wesentlichen nach zwei grundlegenden Technologien

- Pressen (kalt oder warm), meist in kleinen dezentralen Ölmühlen (Verarbeitungskapazität ca. 0,5 bis 25 t Saat/Tag)
- Pressen und Extrahieren, meist in großen zentralen Ölmühlen (Verarbeitungskapazität ca. 1000 t Saat/Tag und mehr)

Pressen

Durch Kalt- oder Warmpressen erfolgt ein schonendes Abpressen, durch das sowohl wertvolle Inhaltsstoffe im Öl erhalten bleiben (hochwertige Speiseöle) und andererseits Begleitstoffe wie z. B die für eine energetische (motorische) Nutzung des Pflanzenöls unerwünschten Phosphorlipide nur in sehr geringem Umfang ins Öl gelangen (beim Kaltpressen z.B. nur ca. 10 bis 30 ppm P). Die grundlegende Technologie ist in **Abb. 11** dargestellt.

Die zu verarbeitende Saat sollte gereinigt sein (Siebreiniger) und ohne Fremdbesatz – bis maximal ca. 5 % (höherer Fremdbesatz führt zu höherem Verschleiß der Presswerkzeuge sowie höherem Energieverbrauch und geringerer Ölausbeute, ggf. auch zu Qualitätsbeeinträchtigungen des Pflanzenöls). Ein Schälen oder Zerkleinern der Samen²⁵ vor dem Pressen ist nicht erforderlich, da die heutigen Pressen entsprechend leistungsstark und verschleißfest ausgelegt sind.

Beim Kaltpressen wird die Saat bei Raumtemperatur bzw. nur geringer Vorwärmung bis ca. 40 °C in einer Schneckenpresse verarbeitet und ca. 75 bis 80 % des Öls aus der Saat abgepresst (das entspricht bei Rizinus ca. 30 bis 38 % der Samenmasse). Beim Warmpressen erfolgt eine Vorwärmung der Saat auf ca. 70 bis 80 °C, mitunter auch auf über 100 °C, wodurch ca. 85 bis 95 % des Öls aus der Saat (bei einem mittleren Ölgehalt des Rizinussamens von 47 % entsprechend 40 bis 44 % Ölausbeute) abgepresst werden kann. Die Erfahrungen der Pressenhersteller zeigen, dass Rizinussamen ohne weitere vorherige Aufbereitung (z.B. Zerkleinerung oder Schälen) verarbeitet werden kann. Sinnvoll ist es auch, den Pressraum einzuhausen und die Abwärme zu nutzen, z. B. zur Samenvorwärmung).

Der in Form von Pellets oder „Schilfer“ anfallende Presskuchen wird gekühlt und anschließend meist als Futtermittel aufbereitet. Aufgrund der Tatsache, dass bei der Rizinusölgewinnung der Presskuchen das Gift Ricin enthält, ist hier jedoch eine andere Technologie erforderlich (s. Kap. 3.2).

²⁵ Hinweis: im Folgenden werden die Begriffe „Samen“, „Saat“ oder „Saatgut“ synonym verwendet.

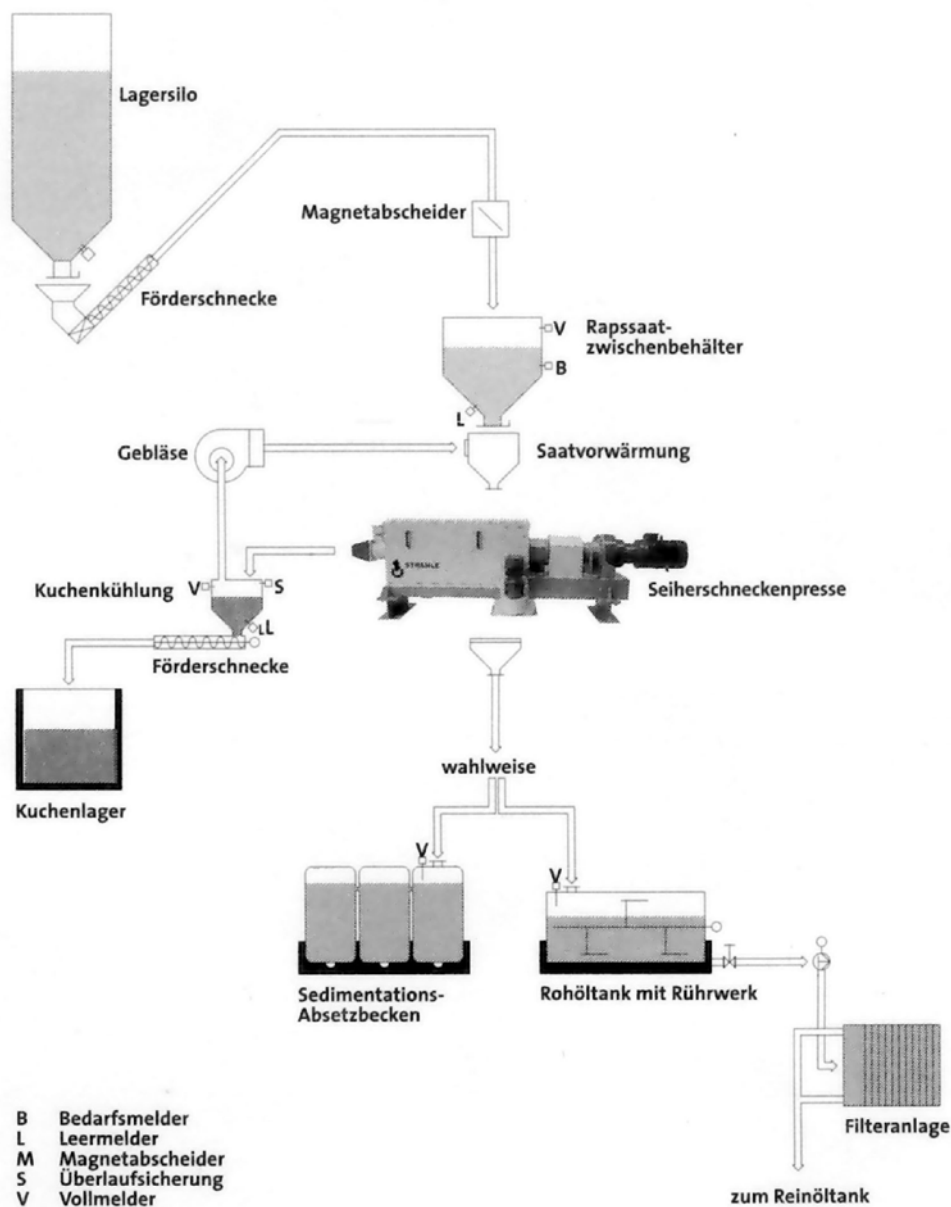


Abb. 11: Funktionsschema einer Pflanzenölgewinnungsanlage im Kaltpressverfahren (STRÄHLE PFLANZENÖLPRESSEN, 2005)

Extraktion

Bei der Extraktion wird die Saat in einer 1. Stufe durch Dampferhitzung vorkonditioniert und das Öl mit Hilfe von Schneckenpressen zu über 50 % abgepresst. Anschließend wird in einer 2. Stufe das verbleibende Öl aus dem Presskuchen mittels Hexan extrahiert und danach das Lösungsmittel aus dem Öl-Hexan-Gemisch abdestilliert. Das aus beiden Stufen gewonnene Rohöl (es weist einen sehr hohen Schleim- und Phosphorgehalt auf – bis ca. 300 ppm P) wird durch Entschleimung (Entfernen der Phosphatide, Schleim- und Trubstoffe), Entsäuerung (Entfernung der freien Fettsäuren), Bleichung

(Entfernung der Farbstoffe) und Desodorierung (Dämpfen zur Entfernung der Geruchs- und Geschmackstoffe) zum Vollraffinat verfeinert. Mit diesem Verfahren lassen sich bei einem Energieeinsatz von ca. 1,7 GJ/t Saat bis zu 99 % des in der Saat enthaltenen Öls gewinnen (REMMELE et al., 2004; BATEL et al., 1980).

Reinigung des Pflanzenöls

Das abgepresste Rohöl muss von den noch enthaltenen Fest- bzw. Trubstoffen²⁶ befreit werden. Das erfolgt entweder durch Sedimentation (Absetzen) oder durch Filtern.

Das Absetzen erfolgt möglichst bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C. Dabei sind mehrere Tanks per Überlauf in Reihe geschaltet. Das Öl soll nicht „plätschern“, sondern in der Nähe des Behälterbodens abgezogen und auch wieder in Bodennähe des nächsten Behälters eingeleitet werden. In jedem Behälter setzen sich Trubstoffe ab – nach ca. 10 bis 14 Tagen ist das Öl (im letzten Behälter) klar und für die Verwendung geeignet.

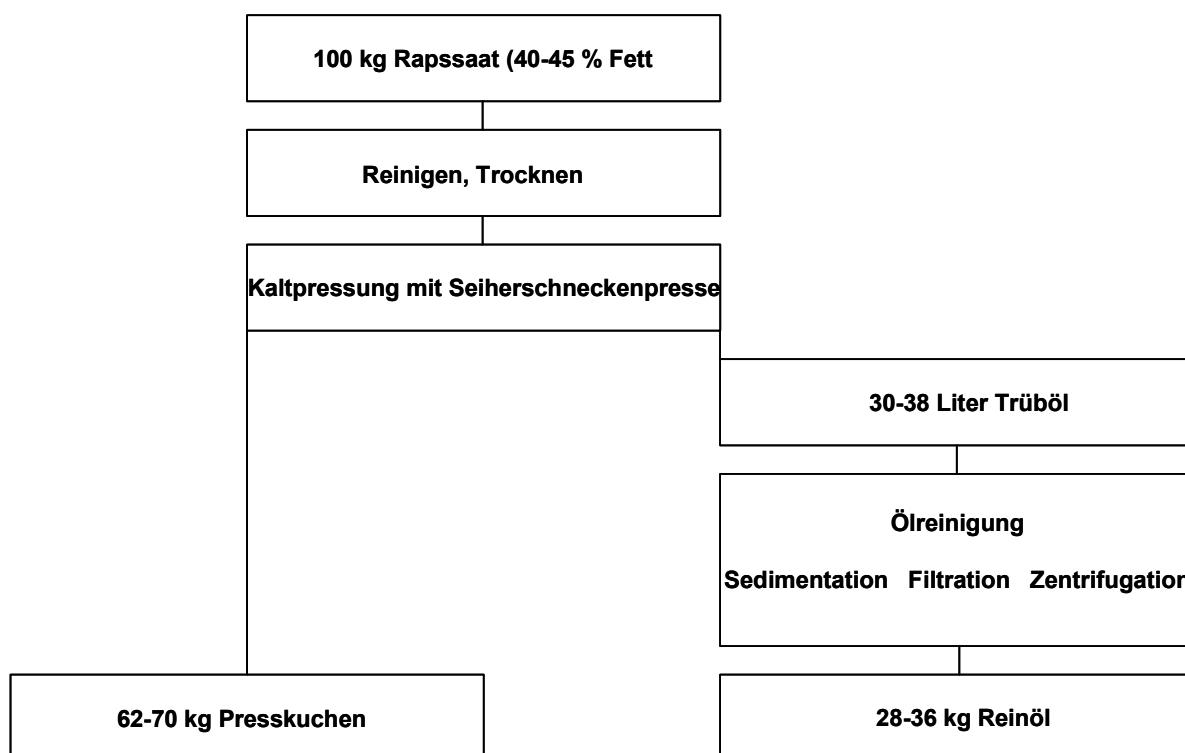


Abb. 12: Verfahrenstechnischer Ablauf der Kaltpressung von Raps nach STRÄHLE PFLANZENÖLPRESSEN (2005)

In dem anderen Verfahren werden die Trubstoffe mit Hilfe von Filtern entfernt²⁷. Am gebräuchlichsten sind (die aus der Weinkelterung bekannten) diskontinuierlich arbeiten-

²⁶ Je nach verarbeiteter Saat, Reinheit der Saat, Pressparameter, Typ und Verschleißgrad der Presse sind zwischen 0,5 und 6 % Trubstoffe im Rohöl enthalten.

den Kammerfilterpressen. Aber auch Vertikaldruckplattenfilter und Vertikaldruckkerzenfilter werden eingesetzt, weniger kontinuierliche Filteranlagen (nur für größere Verarbeitungskapazitäten über 300 kg Saat/Std.). Das abgesetzte oder gefilterte Pflanzenöl wird dann mit Hilfe einer Zahnradschnecke (pflanzenöltaugliche Ausführung) durch eine zweite Filterstufe, einen speziellen Kerzenfilter (teilweise auch Beutelfilter) für Treibstoffqualität (1 µm Filterweite) in den Lagerbehälter gefördert. Dort sollte das Pflanzenöl noch ca. 14 Tage verbleiben, damit sich noch im Öl enthaltene geringe Mengen Schleimstoffe absetzen. Nach der Qualitätskontrolle kann das Öl an den Verbraucher abgegeben, also üblicherweise getankt werden (beachte: nicht vom Tankboden absaugen!). Die Lagerung des Öles sollte in einem dunklen Tank an einem witterungsgeschützten Platz erfolgen²⁸.

Ein Verfahrensschema mit Angabe der durchschnittlichen Stoffströme (bezogen auf die Rapsölgewinnung) ist in **Abb. 12** dargestellt.

Besonderheiten der Rizinusölgewinnung

Die beschriebene Technologie wurde für die Verarbeitung der heimischen Ölsaaten entwickelt und wird in über 200 dezentralen Anlagen in Deutschland eingesetzt (STOTZ und REMMELE, 2004). Aber auch die Verarbeitung anderer Ölsaaten, einschließlich Rizinus ist prinzipiell mit dieser Technologie möglich. Die Erfahrungen zeigen, dass Rizinussamen ohne vorheriges Zerkleinern mit der für die Verarbeitung von Leinsamen ausgelegten Presstechnik (insbesondere Gestaltung und Material der Schnecke) abgepresst werden kann (MAURER, 2004; STRÄHLE, 2005). Infolge der hohen Viskosität dauert allerdings das Absetzen sicherlich länger als bei Rapsöl und infolge der starken Hygroskopie muss möglicherweise besondere Vorsorge getroffen werden, um den Wassergehalt in Grenzen zu halten. Bei der Filtertechnik ist aufgrund der hohen Viskosität dieses Öls auf eine ausreichende Dimensionierung der Förderpumpen zu achten. Wie die Erfahrungen in Deutschland zur motorischen Rapsölnutzung zeigen, ist besonderes Augenmerk auf die Qualitätskontrolle des Rizinusöls zu legen. Im übrigen liegen zur Gewinnung von Rizinusöl langjährige Erfahrungen in Brasilien, Indien, China, Deutschland und anderen Ländern vor.

Für die Planung von kompletten Pflanzenölgewinnungsanlagen (bestehend aus z.B. Saatgutbevorratung, Saatvorwärmer/Presskuchenkühlung, Seiherschneckenpresse, Rohöltank, Kammerfilterpresse, Feinfilter, Pumpe, Elektrik und Steuerungstechnik) sind

²⁷ Damit Trub- sowie Schleimstoffe effektiv entfernt werden, ist es bei Raps z.B. notwendig, dass das Rohöl ca. 6 bis 8 Std. unter leichtem Rühren zwischengelagert wird bevor es durch die Filteranlage gepumpt wird. Durch diese Zwischenlagerzeit quellen die Trubstoffe und die wasserlöslichen Schleimstoffe auf und können so sehr wirksam durch den Filter zurückgehalten werden. Diese Lagerzeit ist bei der Dimensionierung der Filteranlage zu berücksichtigen.

²⁸ Mit einer derartigen Technologie kann eine Qualität des Pflanzenöls erzielt werden, die sowohl Lebensmittelqualität erreicht (Voraussetzung: äußerst saubere Saat mit < 2% Beimengungen und Ausführung aller mit dem Pflanzenöl in Berührung kommender Baugruppen, Anlagenteile, Leitungen, Tanks usw. in Edelstahl) als auch die für die Verwendung als Kraftstoff geltenden Anforderungen erfüllt (s. Kap. 4.2).

in **Anlage 8** die wichtigsten europäischen Firmen genannt. Leistung und Preis ausgewählter Pressen sind in **Anlage 9** aufgeführt.

Wirtschaftlichkeit der Pflanzenölgewinnung

Die Wirtschaftlichkeit einer Pflanzenölgewinnungsanlage hängt wesentlich von der Auslastung der Anlage ab. Deshalb ist es wichtig, dass die Presse kontinuierlich „rund um die Uhr“ läuft. So sollte auch die Anlage dimensioniert werden. Sollte sich das Absatzvolumen des Öls und der Pressrückstände erweitern, ist es u.U. günstiger eine weitere Presse zu kaufen und zuzuschalten, als von vornherein die Anlage größer zu dimensionieren und entsprechende Produktionsunterbrechungen vorzunehmen. Das Anfahren der Anlage und die Stilllegung sind mit einem hohem Energie- und Personalaufwand verbunden – und mit Verlusten bei der Ölausbeute, da die Presse mehrere Stunden braucht, um „warmzulaufen“ und die optimale Presstemperatur von ca. 70 bis 80 °C zu erreichen²⁹.

In Deutschland betragen die Kosten für die Pflanzenölgewinnung (in Abhängigkeit von der Anlagengröße und Auslastung) im Mittel ca. 10 bis 15 €/100 kg Pflanzenöl bzw. 9 bis 13 €/100 l Pflanzenöl. Entsprechende Modellrechnungen zu den Kosten der Pflanzenölgewinnung sind in **Anlage 15** enthalten.

4.2 Motorische Nutzung nativer Pflanzenöle

Pflanzenöle können grundsätzlich als Kraftstoff in Dieselmotoren eingesetzt werden. Schon für die ersten Entwicklungsarbeiten am Motor nutzte Rudolf Diesel verschiedene Pflanzenöle (z.B. Erdnussöl). Durch die motortechnische Weiterentwicklung und die Entwicklung immer besserer (und billigerer) Dieselmotoren auf Basis von Erdöl sind die modernen Dieselmotoren jedoch nicht mehr für eine Nutzung von Pflanzenölen geeignet. Die Gründe dafür liegen vor allem in den unterschiedlichen kraftstoffspezifischen Kenndaten von Dieselmotoren und Pflanzenölen (**Tab. 6** und **7** sowie **Anlage 2**).

Sehr umfassende Untersuchungen zur Charakterisierung der kraftstofftechnischen Eigenschaften von Rizinus- und anderen Pflanzenölen erfolgten im Jahre 1982 von GERING et al. Er stellte fest, dass Rizinusöl sich von den anderen Pflanzenölen in folgenden wesentlichen Eigenschaften unterscheidet:

- ca. 3 bis 5 % höhere Dichte

²⁹ Aus diesem Grunde wird eine modulare Pflanzenölgewinnungsanlage empfohlen, bei der jeweils zwei Pressen mit einer Kammerfilteranlage gekoppelt sind (die Filterpressen haben einen deutlich größeren Durchsatzbereich, der relativ einfach durch Erweiterung der Filterfläche einem wachsenden Bedarf angepasst werden kann). Bei der Minimalausstattung würde zunächst eine Presse mit einer (entsprechend für die doppelte Pressenleistung ausgelegten) Kammerfilterpresse gekoppelt. Bei Erweiterung der Verarbeitungskapazität (und auch unter dem Gesichtspunkt der Produktionssicherheit bei Ausfall der Presse) wird eine zweite Presse angekoppelt.

- ca. 5 bis 10 fach höhere dynamische Viskosität

Er kommt zu dem Schluss, dass Rizinusöl (wie auch Leinöl) zunächst nicht als Dieselmotorkraftstoffersatz geeignet erscheint. Ihm ist dank der inzwischen gesammelten Erfahrungen insoweit zuzustimmen, dass Rizinusöl - sofern der Motorbetrieb überhaupt möglich ist - besonders hohe Anforderungen an die Motorentechnik stellt.

Tab. 6: Kraftstoffspezifische Kenndaten ausgewählter Pflanzenöle im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff nach MAURER (2000), DATENBLATT (2005), GOERING et al. (1982)

	Dichte (15 °C) kg/dm ³	Heizwert MJ/kg	kin. Viskosität (20°C) mm ² /s	Cetanzahl -	Stockpunkt °C	Flammpunkt °C	Jodzahl -	Verseifungszahl mg KOH/g
Dieselmotorkraftstoff	0,84	42,7	4...6	50	-	80	-	-
Rizinusöl	0,95 ²⁾	37,2	297	42	-10...-18	229	82...89	175...187
Rapsöl	0,92	37,6	74	40	0...-3	317	94...113	167...180
Sonnenblumenöl	0,93	37,1	66	35,5	-16...-18	316	118...144	186...194
Sojaöl	0,93	37,1	63,5	38,5	-8...-18	350	114...138	188...195
Leinöl	0,93	37	51	(52)	-18...-27	-	169...192	187...197
Olivenöl	0,92	37,8	83,8	37,1	-5...-9	-	76...90	186...196
Baumwollsaatöl	0,93	36,8	89,4	41	-6...-14	320	90...117	189...198
Purgirussöl	0,91	37,2	71	(51)	-	340	(103)	(138)
Kokosöl (-fett)	0,87	35,3	21,7 ¹⁾	-	14...25		7...10	246...268
Palmöl (-butter)	0,92	37	29,4 ¹⁾	42	27...43	267	34...61	195...206
Palmkernöl (-fett)	-	35,5	21,5 ¹⁾	-	20...24	-	14...22	245...255

1) Kinematische Viskosität bei 50 °C

2) Temperatur nicht angegeben

Die in der Tabelle angeführten Parameter³⁰ bestimmen die Eignung als Kraftstoff wie folgt:

- Dichte: bestimmt in Verbindung mit dem (massebezogenen) Heizwert den volumetrischen Heizwert des Pflanzenöls, der für den Kraftstoffverbrauch bestimmend ist (er entspricht annähernd dem volumetrischen Heizwert von Dieselmotorkraftstoff, der einen höheren massebezogenen Heizwert aber eine geringere Dichte besitzt)

³⁰ Siehe auch Definition der kraftstoffspezifischen Kennwerte in Anlage 14.

- Heizwert: bestimmt den Energiegehalt, der bei der Verbrennung im Motor umgesetzt werden kann (bestimmt Leistung und Verbrauch)
- kinematische Viskosität: bestimmt das Fließverhalten und damit die Förderfähigkeit, Dosierbarkeit und Tröpfchengröße beim Einspritzen in den Motor – und damit den Brennverlauf (Leistung und Verbrauch). Zu hohe Viskosität (sowie geringe thermische Stabilität) führen zu Verkokungen der Einspritzdüsen.
- Cetanzahl: bestimmt das Verbrennungsverhalten und damit Motorleistung, Kraftstoffverbrauch und Motorverschleiß
- Stockpunkt: bestimmt die „Kälteempfindlichkeit“ des Pflanzenöls als Kraftstoff. Es ist der Punkt, an dem das Pflanzenöl fest und damit nicht mehr förder- und dosierfähig wird. Um das Pflanzenöl bei niedrigen Temperaturen (um den Stockpunkt) weiter fließfähig zu halten, ist die Zumischung geeigneter Additive erforderlich.
- Flammpunkt: bestimmt die erforderliche Temperatur, bei dem sich das Pflanzenöl entzündet und verbrennt. Der deutlich höhere Flammpunkt gegenüber Dieselmotorkraftstoff führt möglicherweise zu höheren Betriebstemperaturen des Motors.
- Jodzahl: kennzeichnet den Anteil ungesättigter Fettsäuren bzw. die Anzahl der Doppelbindungen. Je höher die Jodzahl ist, desto mehr ungesättigte Fettsäuren enthält das Pflanzenöl und desto mehr neigt es dazu, bei höheren Temperaturen oder unter Sauerstoff- und UV-Einwirkung zu verharzen. Beim Einsatz im Motor führt es zu Verharzungen/Verlackungen in Kraftstofftank, Leitungen und Einspritzsystem sowie zur Erhöhung der Viskosität des Motoröls.
- Verseifungszahl: bestimmt den Säurewert des Pflanzenöls. Bei Mischungen mit (basischem) Dieselmotorkraftstoff und beim Einsatz im Motor führt dies zu Verseifungen (Ausflockungen) und beeinträchtigt die Standzeiten von Kraftstofffilter und Motoröl negativ.

Weitere kraftstoffrelevante Parameter sind (vgl. BATEL et al., 1980):

- Phosphatide, Schleim- und Trubstoffe: sie quellen bei Anwesenheit von (auch geringsten Mengen) Wasser. Sie führen zu Trübung und Bodensatz im Tank und zu Verstopfungen der Kraftstofffilter und fördern die mikrobielle Zersetzung des Pflanzenöls (Verderb), wodurch es für die motortechnische Verwendung ungeeignet wird. Phosphatide kristallisieren unter hohen Temperaturen (im Motor) aus und verursachen Verschleiß an den Zylinderwänden und Kolbenringen, vermindern damit die Motorlebenszeit und erhöhen den Kraftstoffverbrauch. Darüber hinaus ist Phosphor ein Katalysatoren Gift mit irreversibler Wirkung.
- Freie Fettsäuren (bestimmt durch Säurezahl): sie verringern den Flammpunkt und die Viskosität, wirken aber korrosiv gegenüber Eisenwerkstoffen (erhöhter Motorverschleiß).

Um Pflanzenöl in Dieselmotoren verbrennen zu können, sind grundsätzlich zwei Wege möglich:

- Anpassung der Motorentchnik an das naturbelassene Pflanzenöl
- Anpassung des Pflanzenöls an den Motor, insbesondere durch Umesterung (s. Kap. 4.3 und 4.4).
- Darüber hinaus sind auch Experimente mit Mischungen bekannt (s. Kap. 4.5).

Umrüstung von Dieselmotoren

Mit dem Einsatz von (naturbelassenen) Pflanzenölen, insbesondere Rapsöl, in Motoren wurden in den vergangenen Jahrzehnten in Deutschland einige Erfahrungen gesammelt, indem spezielle Konstruktionen von Pflanzenöl- oder Vielstoffmotoren entwickelt wurden (Fa. Elsbett und ehemalige Motorenwerke Nordhausen, jetzt MWB-Motorenwerke Bremerhafen) oder entsprechende Umrüstungen von herkömmlichen Dieselmotoren vorgenommen wurden. Während sich spezielle Pflanzenöl- bzw. Vielstoffmotoren nicht durchsetzen konnten (lediglich eine Nische für stationäre Anwendungen in Blockheizkraftwerken – BHKW eroberten) sind inzwischen die verschiedensten Umrüstkonzepte in Deutschland am Markt.

Dabei werden unterschieden:

- 1-Tank-Technik
- 2-Tank-Technik

Bei der 2-Tank-Technik wird der Motor mit Dieselkraftstoff gestartet und über entsprechende Wärmetauscher der Pflanzenöltank über den Motorkühlkreislauf und/oder das Pflanzenöl in der Kraftstoffleitung (z.B. mittels beheizbarem Filter oder Heizwendel in der entsprechend dimensionierten Leitung) auf bis zu 60 bis 70 °C erwärmt. Dann ist das Pflanzenöl weniger viskos und kann in den Motor eingespritzt werden – dazu wird ein entsprechendes temperaturgesteuertes Ventil geschaltet, das die Dieselkraftstoffzufuhr unterbricht und die Zufuhr aus dem Pflanzenöltank öffnet. Beim Abstellen des Motors wird entweder automatisch oder manuell auf Dieselkraftstoffbetrieb umgeschaltet – der Motor läuft kurz nach, bis die Leitungen und das Einspritzsystem mit Dieselkraftstoff „gespült“ sind. Beispiele für einen 2-Tank-Umrüstsatz sind die von den Fa. Naturpower und HeiPro angebotenen Systeme (HEINRICH, 2004; HEIPRO, 2005).

Bei der 1-Tank-Technik wird der Motor nur mit Pflanzenöl betrieben. Die dafür gefundenen technischen Lösungen der verschiedenen Umrüster unterscheiden sich deutlich in der Tiefe (MAURER 2004; WICHMANN, 2004). Gemeinsamkeiten aller Umrüstkonzepte sind die Vorwärmung des Pflanzenöls und die Vergrößerung der Leitungsquerschnitte. Tiefere Umrüstungen (vgl. WICHMANN, 2004; LEITFADEN, 2004; HEINRICH, 2002; KAISER, 2004; REMMELE et al. 2004 u.a.) betreffen den Austausch von Kraftstoffförderpumpe und -leitungen, die Regelung der Einspritzmenge, die Düsengeometrie, die Einstellung des Einspritzzeitpunktes, die Modifikation der Einspritzdüsen (z.B. mit Heizelement) und der Glühkerze (z.B. Verlängerung/Hineinragen in den Einspritzstrahl), z.T. auch die Gestaltung des Brennraumes und die Gemischbildung im Brennraum (z.B. Spezialkolben mit integriertem Brennraum, tangential angeordnete Einlochdüsen – Motorenkonzepte von Elsbett, AAN bzw. MWB). Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Konzepte haben sich in der Praxis bei Traktoren (im Rahmen des mehrjährigen Flottenversuchs 100-Traktoren-Programm) vor allem diejenigen Umrüster bewährt, die inzwischen bereits mehr als zehn Jahre am Markt sind (WICHMANN, 2004). Das sind insbesondere die Firmen Elsbett GmbH, Thälmassing, VWP GbR mbH, Allersberg und

Hausmann, Wülfershausen. Bei PKW-Motorenumrüstungen haben sich durch langjährig störungsfreien Pflanzenölbetrieb neben den o.g. Umrüstern weiterhin die Firmen Naturpower, Zossen und Thomas Gruber KG, Ampfing bewährt.

Eine Übersicht über die deutschen Firmen, die Dieselmotoren auf Pflanzenölbetrieb umrüsten ist in **Anlage 10** gegeben.

Qualitätsanforderungen an Pflanzenöle zur motorischen Nutzung

Voraussetzung für den Einsatz von nativem Pflanzenöl als Motorkraftstoff ist die Einhaltung der Qualitätsparameter der „Arbeitsgemeinschaft dezentrale Pflanzenölgewinnung“ – bekannt als „RK-Qualitätsstandard 05/2000“, der die Grundlage für die in Arbeit befindliche Vornorm DIN 51605 bildet (**Anlage 11**). Die in diesem Standard festgelegten Grenzwerte³¹ sind im Vergleich zu den bisher vorliegenden Rizinusöl-daten in der folgenden Tabelle dargestellt (**Tab. 7**).

Tab. 7: Vergleich der kraftstoffspezifischen Eigenschaften von Rizinusöl und den im RK-Qualitätsstandard für Rapsöl geforderten Parametern

Eigenschaft, Inhaltsstoffe	Einheit	Rizinusöl nach diversen Quellen	Rapsöl nach RK-Qualitätsstandard
Dichte (15 °C)	kg/m ³	950 ... 974	900 ... 930
Flammpunkt nach P.-M.	°C	229 ... 260	> 220
Heizwert	MJ/kg	37,2 ... 39,5	> 35,0
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm ² /s	240 ... 300	< 38
Kälteverhalten (Stockpunkt*)	°C	-10 ... -32	0 ... -4*
Zündwilligkeit (Cetanzahl)	-	42	37...40*
Koksrückstand	Masse-%	0,22	< 0,40
Iodzahl	g/100 g	82 ... 90	100...120
Schwefelgehalt	mg/kg	10	< 20
Gesamtverschmutzung	mg/kg	< 10	< 25
Neutralisationszahl	mg KOH/g	(0,21) 1,0...4,0	< 2,0
Oxidationsstabilität (110 °C)	h	95	> 5,0
Phosphorgehalt	mg/kg	< 4	< 15
Aschegehalt	Masse-%	< 0,01	< 0,01
Wassergehalt	Masse-%	0,15 ... 0,30	< 0,075

*Noch nicht im RK-Standard festgelegt (vgl. **Anlage 11**)

Quellen: GOERING et al 1982; LAKSHMNARAYANA 1987; MAURER 2000 u.a.

Diese Qualitätsparameter können für Rapsöl mit den gebräuchlichen Pflanzenölgewinnungstechnologien (Kaltpressung oder Extraktion/Raffination; s. Kap. 4.1) eingehalten

³¹ Definition und Wirkung dieser Parameter sind in Anlage 14 genannt.

werden. Dabei haben die Untersuchungen des in Deutschland zur Zeit laufenden 100-Traktoren-Programmes ergeben, dass die sichere Einhaltung der Qualitätsparameter nur gelingt, wenn Filterung und Reinigung des Pflanzenöls mit äußerster Sorgfalt erfolgen, um Gesamtverschmutzung und Phosphorgehalt (die häufigsten Grenzwertüberschreitungen!) unter den Grenzwerten zu halten (WICHMANN, 2004). Vollraffinate sind nach jetzigem Erkenntnisstand gut geeignet, da sie nach WICHMANN, 2004 den RK-Qualitätsstandard 05/2000 einhalten bzw. deutlich unterschreiten und über längere Zeit (mind. 1 Jahr) lagerstabil sind. Inwieweit dieser für Rapsöl geltende Qualitätsstandard für Rizinusöl geeignet ist, muss noch geklärt werden.

Einsatzerfahrungen zum Pflanzenölbetrieb von Motoren

In Deutschland liegen mehrjährige Praxiserfahrungen und Ergebnisse von Pilotversuchen zum Einsatz von Rapsöl in umgerüsteten Dieselmotoren vor. Es existieren hier schätzungsweise mehr als 150 stationäre Pflanzenöl-BHKW, von denen derzeit allerdings nur noch ein kleiner Teil betrieben wird. Die Anzahl mobiler Anwendungen in PKW, LKW, Traktoren und Booten ist unbekannt. Allerdings sind im Jahre 2003 etwa 28.000 t Rapsöl von vorwiegend dezentralen Ölgewinnungsanlagen als Motorkraftstoff verkauft worden (GRAF, 2005; REMMELE, 2005).

Die bisherigen Untersuchungen und Praxiserfahrungen zum Pflanzenölbetrieb von umgerüsteten Dieselmotoren lassen sich wie folgt zusammenfassen (MAURER, 2004; RAKEL, 2004; HEINRICH, 2002; WICHMANN, 2004; WOLF, 1993; REMMELE et al., 2004):

- Die Einsatzergebnisse hängen stark von Motorenbauart (und der entsprechend anzupassenden Umrüstsysteme) ab.
- Die Einsatzbedingungen haben wesentlichen Einfluss auf die Einsatzergebnisse (so sollte Motorenleerlauf weitgehend vermieden werden, da es sonst zu starker „Motorenölverdünnung“ kommt, d.h. zu einem verstärkten Pflanzenöleintrag in das Motorenschmieröl).
- 2-Tank-Systeme sind technisch einfacher und vergleichsweise kostengünstig, in der Praxis nachgewiesenermaßen sehr zuverlässig.
- Die Motorleistung entspricht weitgehend der beim Dieselkraftstoffbetrieb, je nach Motor- und Umrüstkonzept werden teilweise 5 bis 10 % höhere Leistungen oder aber auch 5 bis 10 % geringere Leistungen erreicht.
- Bei niedrigen Laststufen und niedriger Motordrehzahl sind die Leistungswerte geringer, bei höherer Motorauslastung und Drehzahl werden bei Pflanzenölbetrieb teilweise höhere Werte erreicht als bei Dieselkraftstoffbetrieb.
- Die Emissionswerte weisen nur geringfügige Unterschiede zum Dieselkraftstoffeinsatz auf, bei NO_x jedoch eine leichte Erhöhung (mit der Tendenz der Annäherung an das Dieselkraftstoffniveau durch Verbesserung des Umrüstkonzepts). Bei Partikeln werden die bisherigen Grenzwerte meist eingehalten.
- Die Standzeiten der Kraftstofffilter verringern sich (empfohlen wird deshalb allgemein, die Filterwechselzeiten gegenüber Dieselkraftstoff zu halbieren).

- Die Qualität des eingesetzten Pflanzenöls hat wesentlichen Einfluss, insbesondere die Gesamtverschmutzung (durch Teilchen $>1 \mu\text{m}$), der Phosphorgehalt (10 bis 15 ppm) und die Neutralisationszahl (z.B. durch nicht sachgemäße Lagerung).

Insgesamt muss eingeschätzt werden, dass der Betrieb von umgerüsteten Dieselmotoren mit Rapsöl im allgemeinen gut funktioniert, wenn die Qualität des Pflanzenöls den Qualitätsanforderungen entspricht und es sich um ein erprobtes und in der Praxis bewährtes Umrüstsystem handelt, das der Abgasnorm genügt³². Bewährt haben sich nach WICHMANN (2004) beim Pflanzenölbetrieb vor allem die ältere Bauart des Wirbel- oder Vorkammermotors sowie bei den modernen direkteinspritzenden Motoren schmierölgeschmierte Reiheneinspritzpumpen sowie Pumpe-Leitung-Düse-Systeme (z.B. bei der Deutz-Motoren-Baureihe). Ob Rapsöl auch für neuere und künftige Motorenfamilien geeignet ist, muss allerdings noch geklärt werden

Die dargelegten Einsatzerfahrungen beziehen sich überwiegend auf Rapsöl, teilweise auch auf Sonnenblumenöl. Von Prüfstandsuntersuchungen sind auch erfolgreiche Versuche mit Palmöl und dem Öl der Purgiernuss bekannt (MAURER, 2004).

Einsatzmöglichkeit von Rizinusöl

Zur motorischen Nutzung von Rizinusöl in Dieselmotoren wurden bisher in Deutschland nur wenige Tastversuche durchgeführt. Anfang bis Mitte der 90er Jahre wurden in Thüringen erste Labortests von Rizinusöl in Pflanzenölmotoren durchgeführt, jedoch wegen der relativ hohen Kosten für Rizinusöl bzw. wegen fehlender Wirtschaftlichkeit des Rizinusanbaus und der Rizinusölgewinnung in Deutschland nicht weitergeführt. Anhand dieser Tastversuche wird vorsichtig eingeschätzt, dass Rizinusöl möglicherweise für pflanzenöлтаugliche Motoren geeignet ist (GRAF, 2005; KAMPMANN, 2005). Erste Erfahrungen mit einem Rizinusöl-BHKW in dem Dorf Uruque bei Fortaleza in Brasilien scheinen dies zu bestätigen (KNIGHT, 2004).

³² Nach WICHMANN (2004) liefen von den im Rahmen des deutschen 100-Traktoren-Projektes eingesetzten 111 Traktoren in den vergangenen 2 Jahren

- 30 Traktoren störungsfrei
- 35 Traktoren mit geringen Störungen
- 36 mit mittleren Schäden ($>2.000,- \text{€}$).
- 10 Traktoren wiesen schwerere Schäden ($>15.000,- \text{€}$) auf.

Folgende Probleme traten insbesondere auf:

- Minderleistungen im Rapsölbetrieb (bei 10 % der Traktoren, Ursache: z.T. ungenügende Anpassung des Motorenmanagements an das Rapsöl)
- Filterverstopfungen durch schlechte Rapsölqualität
- Undichtigkeiten an Kraftstoffleitungen und
- Rußablagerungen in Luft- und Abgaskanälen.

Die Ursachen für die schweren Schäden sind vor allem:

- defekte Verteilereinspritzpumpen und Einspritzdüsen
- Schäden an den Einspritzpumpen Bosch VP44 sowie Stanadyne
- Festgehende Auslassventile aufgrund von Ablagerungen (typische Langzeitschäden nach mehr als 2.500 Einsatzstunden)
- Verstärkter Rapsöleintrag in das Motorenschmieröl (durch hohen Anteil an Leerlauf).

Die Vorteile von Rizinusöl sind:

- Es hat einen sehr hohen Anteil der einfach ungesättigten Ricinolsäure (C 18:1) – ein weit höherer Anteil einer C 18:1-Fettsäure als der Ölsäure-Gehalt im Rapsöl, analog des Ölsäuregehaltes der HO-Sonnenblume (hoch-oleic-Sonnenblume mit ca. 80 % C18:1-Ölsäure).
- Durch die HO-Gruppe in der Ricinolsäure weist Rizinusöl eine deutlich höhere Oxidationsstabilität als z.B. Raps- oder Sonnenblumenöl auf – dies bedeutet ein besseres Lagerungsverhalten (Langzeitlagermöglichkeit) und Verbrennungsverhalten im Motor sowie geringe Neigung zum Klopfen und zur Verharzung der Einspritzpumpen und -düsen.
- Die Tatsache, dass Rizinusöl auch bei niedrigen Temperaturen (Stockpunkt -10 bis -18 °C) nicht verdickt bzw. fest wird, ist für die Kraftstoffförderung und -dosierung von Vorteil.

Nachteilig wirkt sich aus, dass

- Rizinusöl eine deutlich höhere Viskosität (möglicherweise auch Kompressibilität) als die anderen Pflanzenöle aufweist und damit Probleme beim Einsatz als Motorenkraftstoff verursacht. (Insbesondere die Kraftstoffpumpe und die Einspritzdüsen sind hinsichtlich dieser hohen Viskosität entsprechend auszulegen. Es ist auch zu vermuten, dass der Verbrennungsvorgang im Zylinder (Tröpfchenbildung) ungünstig beeinflusst wird.)
- Rizinusöl sehr hygroskopisch ist, dadurch einen höheren Wassergehalt als andere Pflanzenöle aufweist (> 0,15 %) und damit Probleme bei der Filterung, dem Algenwachstum und durch Korrosion im Motor verursachen kann.

Da sich Rizinusöl von dem in Deutschland als naturbelassener Kraftstoff gebräuchlichen Rapsöl erheblich unterscheidet und zudem in unterschiedlichen Handelsqualitäten angeboten wird, sind für einen konkreten Einsatz geeignete Kraftstoffanalysen und Motortests unumgänglich.

Wirtschaftlichkeit des Pflanzenöleinsatzes in Motoren

Aus wirtschaftlicher Sicht kann der Einsatz von naturbelassenem Pflanzenöl in umgerüsteten Dieselmotoren durchaus effizient sein. Unter den in Deutschland geltenden ökonomischen, inklusive steuerlichen Rahmenbedingungen haben sich die Umrüstkosten von 1.500 – 2.500 € haben sich bei einem Preis des Pflanzenöls von ca. 0,50 – 0,65 €/l bereits nach ca. 40.000 – 50.000 km amortisiert (SIEVERDING, 2004). Kaltgepresstes Pflanzenöl ist als Kraftstoff insbesondere auch im Rahmen regionaler Wirtschaftskreisläufe bzw. Wertschöpfungsketten sinnvoll, sofern die dezentrale Qualitätsüberwachung gewährleistet ist. Die Landwirtschaft selbst, regionale Produktvermarkter, Fuhrparks, private und öffentliche Dienstleister in umweltrelevanten Bereichen sowie private Interessenten sind potentielle Endkunden dieser regionalen Wertschöpfungskette von Pflanzenölkraftstoff (WOLF et al., 2001; SIEVERDING, 2004; RENERGIE, 2005).

Die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit sind für Rizinusöl aber nur unter Vorbehalt gültig. Aufgrund der wesentlich höheren Viskosität des Rizinusöls werden aufwendigere und damit teurere Umrüstungen erforderlich. Höhere Preise für Rizinusöl wirken sich zusätzlich verlängernd auf die Rückflussdauer der Umrüstaufwendungen aus. Genauere Aussagen können allerdings erst nach Durchführung entsprechender Analysen und Prüfstandsversuche getroffen werden, in denen geeignete technische Lösungen zur Anpassung des Motors an die höhere Viskosität des Rizinusöls abzuleiten sind³³.

4.3 Umesterung von Pflanzenöl

Durch die Umesterung (manche Autoren sprechen fälschlicherweise auch von Veresterung) werden bei gleichbleibendem Heizwert wichtige kraftstoffrelevante Eigenschaften des Pflanzenöls wie die kinetische Viskosität, die Dichte und der Flammpunkt so verändert, dass sie in Dieselmotoren eingesetzt werden können.

Grundlagen

Bei der Umesterung werden die Esterbindungen der Triglyzeride des Pflanzenöls getrennt und die Fettsäuren dann mit einem Alkohol verestert. Es entstehen Fettsäureester und Glycerin (**Abb. 13**). Durch die Umesterung mit Methanol entstehen PME – Pflanzenölmethylester bzw. FAME – Fettsäuremethylester (*engl.: fatty acid methyl(ene) ester*) und durch die Umesterung von Rapsöl Rapsölmethylester bzw. RME. Für RME wird auch der Begriff Biodiesel angewendet – inzwischen setzt sich der Begriff Biodiesel immer mehr auch allgemein für Pflanzenölmethylester (oder auch Pflanzenölethylester) durch³⁴, selbst für Methylester aus Altspisefetten (AME).

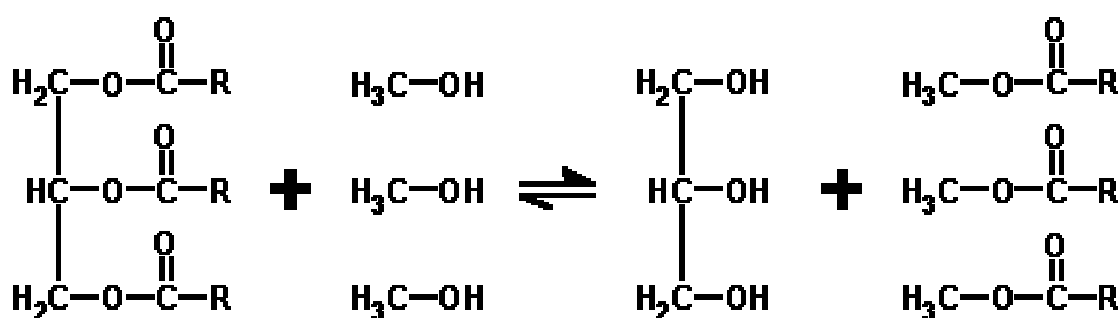


Abb. 13: Umesterungsreaktion von Pflanzenöl (Triglyceride)

³³ Bei Nachweis der Eignung des Rizinusöls als Kraftstoff erscheint es durchaus sinnvoll, Rizinusöl als Kraftstoff regional im Rahmen von Erzeuger- und Verarbeiterzusammenschlüssen (z.B. auf genossenschaftlicher Basis) vor Ort einzusetzen, indem Lieferanten von Rizinusssamen das daraus erzeugte Rizinusöl (entsprechend ihren angelieferten Mengenanteilen) zu den Ölgewinnungskosten kaufen und einsetzen. Ein derartiges Modell der „Vertragsproduktion“ von Pflanzenöl unter Anrechnung der angelieferten Rohware wird seit 22. Juni 1991 erfolgreich von einer inzwischen 600 Mitglieder zählenden Erzeugergemeinschaft im österreichischen Mureck praktiziert (SEEG, 2005).

³⁴ In diesem allgemeinen Sinne wird der Begriff Biodiesel auch in dieser Studie verwendet.

Technologie

Der bei der Umesterungsreaktion benötigte Alkohol (Methanol oder Ethanol) wird dem Pflanzenöl in einem Anteil von etwa 10 % beigegeben. Bei den Verfahren, die sich in der Praxis durchgesetzt haben, erfolgt die Umesterungsreaktion unter Normaldruck und bei Temperaturen von 60 bis 70 °C unter Beteiligung eines Katalysators (z.B. Kalilauge). Dafür werden mehrere Stunden bis Tage benötigt. Dabei bilden sich zwei leicht zu trennende Phasen aus dem flüssigen PME und dem seifenartigen Glycerin (ca. 10 bis 15 % der gesamten Menge). Als Hauptprodukt entsteht am Ende dieser Umesterung Pflanzenölmethylester, der nach Entfernung von Alkohol- und Katalysatorresten für den Einsatz als Kraftstoff abgepumpt und gelagert wird. Das Verfahrensflussbild der Biodieselherstellung ist in **Abb. 14** dargestellt. Im Umesterungsprozess werden folgende Stoffe umgesetzt (bezogen auf 1000 kg Pflanzenöl):

- Input: 1000 kg Pflanzenöl
156 kg Methanol
6,5 bzw. 9,2 kg KOH bzw. NaOH
- Output: 965 kg PME
23 kg Methanol (wiederverwendbar)
168,5 kg Glycerin (verunreinigt)
6,5 bzw. 9,2 kg KOH bzw. NaOH

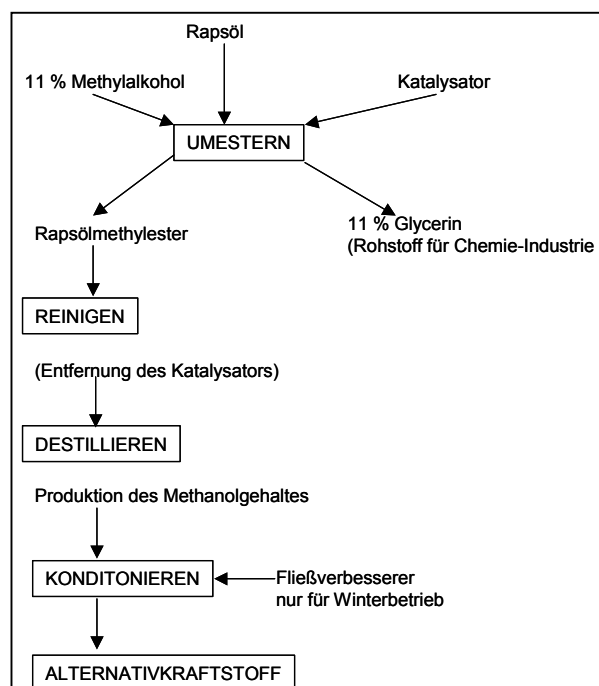


Abb. 14: Darstellung des Umesterungsprozesses (SYASSEN, 1992)

Der hier dargestellte Vorgang zeigt die Umesterung von Rapsöl zu Rapsölmethyl ester. Der Vorgang entspricht aber grundsätzlich auch der Umesterung von anderen Pflanzenölen und der Umesterung mit Ethanol. Da Brasilien über große Mengen preisgünstigen Bioethanols verfügt³⁵, erscheint die Herstellung von Biodiesel in Form von Pflanzenölethylester sinnvoll. Bei der Verwendung von Ethanol sind jedoch andere Prozessparameter erforderlich, da die Reaktion langsamer verläuft als beim Einsatz von Methanol. Vor allem erscheinen eine weitere Temperaturerhöhung und eine verlängerte Verweilzeit im Reaktionsbehälter notwendig, möglicherweise auch andere Katalysatoren³⁶.

Zur Umesterung von Rizinusöl mit Ethanol liegen in Europa offenbar keine Erfahrungen vor. Die Experten sehen allerdings - evtl. mit Ausnahme der schwierigeren Phasentrennung, wegen der guten Löslichkeit des Rizinusöls in Alkohol - keine gravierenden Probleme (KRAHL, 2005; REMMELE, 2005; BOCKEY, 2005; WILHARM, 2005). Es müssen jedoch zielgerichtet Versuche durchgeführt werden, um einerseits notwendige Anpassungen der Technologie und Prozessparameter abzuleiten und andererseits die kraftstofftechnischen Eigenschaften von Rizinus-Biodiesel (insbesondere Rizinusölethylester) zu ermitteln und zu testen. Möglicherweise verfügen einige brasilianische Forschungseinrichtungen und Umesterungsanlagen über diesbezügliche Ergebnisse und Erfahrungen (SCHRÖER, 2005).

Biodieselanlagen

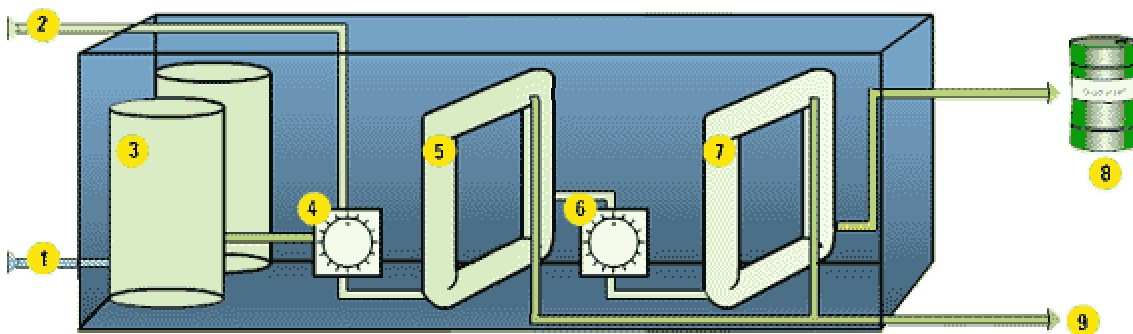
Eine Biodieselanlage stellt eine Chemieanlage dar mit im wesentlichen diskontinuierlich arbeitenden Hauptreaktoren (für Umesterung, Phasentrennung). Die wichtigsten Anlagen und Ausrüstungen sind in den **Abbildungen 15** und **16** gezeigt.

Die technische Realisierung einer Biodieselanlage hängt wesentlich von der geplanten Produktionsleistung ab. Die Anlagengrößen in Deutschland reichen von einer Produktionskapazität von ca. 1.500 t/a bis über 100.000 t/a (vgl. **Anlage 18**). Für Brasilien sind in Zusammenhang mit der Rizinusölproduktion möglicherweise auch kleinere Anlagen unter 1.000 t/a (3.000 l/d) von Bedeutung³⁷, die dezentral, z.B. im Rahmen von regionalen Erzeugergemeinschaften, betrieben werden können. Hierzu gibt es Konzepte in Modulbauweise bzw. auf Container-Basis, die von deutschen Firmen angeboten werden (**Abb. 16** und **Tab. 8**). Außerdem bestehen offenbar bereits einige Biodieselproduzenten dieser Größenordnung (Fa. UFPI, Rio und Fa. UESC, Ilhéus) in Brasilien.

³⁵ Nach HENKE (2004) betragen die Produktionskosten für Bioethanol in Brasilien nur 0,20 €/l gegenüber 0,50 €/l in Europa.

³⁶ Bekannt ist, dass sich für eine qualitätsgerechte Produktion von Biodiesel entsprechende Katalysator-Mischungen, wie Kalilauge oder Natriummethylat in Methanollösung (Fa. DEGUSSA) bewährt haben. Für die Umesterung mit Ethanol müssten allerdings diese Rezepturen geprüft bzw. neu entwickelt werden.

³⁷ Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei Kleinanlagen die spezifischen meist höher und Wirtschaftlichkeit meist ungünstiger als bei Großanlagen sind (vgl. Tab. 8 und Anlage 16), und die Qualitätskontrolle Probleme bereiten kann.



Ablauf :

1. Methanol (1) und Katalysator werden Tank (3) gemischt.
2. Diese Mischung (4) aus Öl (2) und Methanolat wird im Reaktor (5) umgeestert.
3. Der daraus entstandene Methylester wird erneut in einem zweiten Tank (7) umgeestert, um eine konstant hohe Qualität zu garantieren. Die Glycerinphase sowie überschüssiges Methanol werden entfernt.
4. Das Ergebnis ist Biodiesel (8) und die Glycerinphase (9) als Nebenprodukt, das an die chemische Industrie weiterverkauft werden kann.

Abb. 15: Workflow einer Biodieselanlage (GHP-BIODIESEL, 2005)

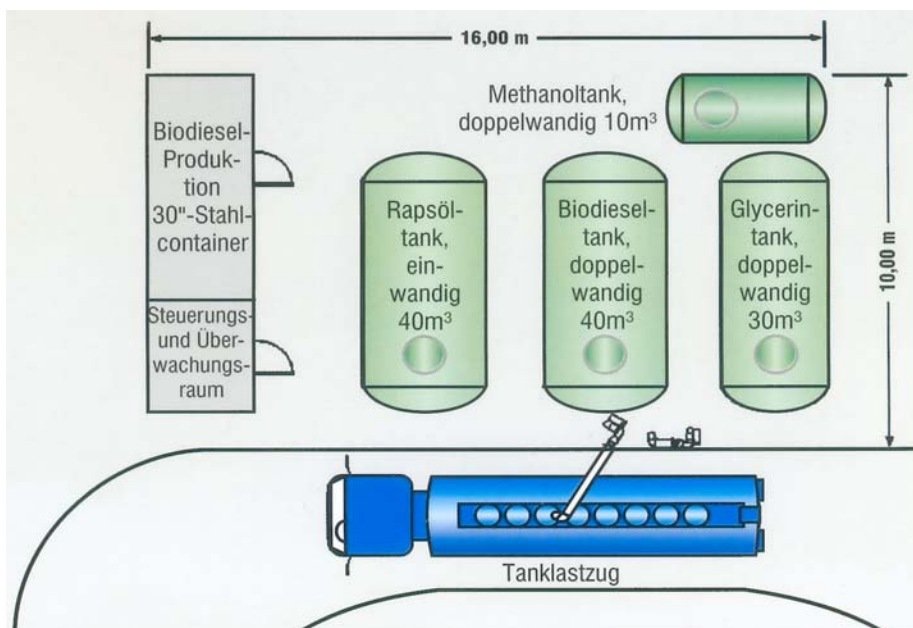


Abb. 16: Beispiel einer Biodiesel-Containeranlage aus der Vogelperspektive nach IBG-Monforts Oekotec GmbH (BIODIESEL-KURIER, 2005)

Tab. 8: Planer und Hersteller von Biodieselanlagen in Deutschland

Anschrift	Leistung und z.T. Preis
Cimbria Sket GmbH Schilfbreite 2, 39120 Magdeburg Tel.: 0391/68-2249 Fax: 0391/68-4233 Internet: www.cimbria.com E-Mail: sket@cimbria.com	4.000 ... 75.000 t/a
Lurgi AG Lurgiallee 5, 60295 Frankfurt Tel.: 069/5808-0 Fax: 069/5808-3888 Internet: www.lurgi.de E-Mail: klaus_hohmann@lurgi.de	35.000 ... 120.000 t/a
MAN Ferrostaal AG Dept. AW / Industrial Plants Hohenzollernstr. 24, 45128 Essen Tel.: 0201/818-2751 Fax: 0201/818-2822 Internet: www.ferrostaal.de E-Mail: helmut.brand@manferrostaal	40.000 ... 150.000 t/a
Green Power Umwelttechnik Oranienburg Ltd. Sachsenhausener Str. 27 16515 Oranienburg Tel.: 03301/70 05 05 Fax: 03301/70 05 06 E-Mail: info@grennpowerltd.de	5.000 t/a (11 Mio l/a) 2.300.000 € (auch als Containeranlage)
GHP-Biodiesel GmbH & Co. Kg. Dreichlinger Straße 73a, 92318 Neumarkt Tel.: 09181/238799 Fax: 09181/238798 Internet: www.ghp-biodiesel.de E-Mail: info@ghp-biodiesel.de	ca. 10.000 t/a
L.U.T. Labor- und Umwelttechnik Jena GmbH Keßlerstr. 27 07745 Jena Tel.: 03641-6260 Fax: 03641-626222 Internet: www.lutjena.de E-Mail: info@lutjena.de	100.000 ... 300.000 t/a (nach neuem Verfahren)
STH Engineering GmbH Schwarze Breite 14, 34260 Kaufungen Tel.: 0561 – 57984-0 Fax: 0561 – 57984-19 Internet: www.sth-engineering.de E-Mail: info@sth-engineering.de	5.000 ... 30.000 t/a (auch als Containeranlage)
UTEC Engineering & Consulting GmbH Simbacherstr. 28 84375 Kirchdorf am Inn Tel.: 08571-920614 Fax: 08571-930414 Internet: www.utec-ae.de E-Mail: info@utec-ae.de	10 ... 180 t/a (25 l/d ... 200 Mio l/a)

IBG Monforts	450 ... 3.600 t/a
An der Waldesruh 23, 41238 Mönchengladbach	(0,5 ... 4 Mio l/a)
Tel.: 02166/868290 Fax: 02166/868244	215.250,- ... 451.500,- €
Internet: www.ibg-monforts.de	(Containeranlagen)
E-Mail: info@ibg-monforts.de	

Nach Firmenangaben. Kein Anspruch auf Vollständigkeit. Die Preisangaben sind grobe Richtwerte.

Verwertung des Glycerins

Glycerin, das immerhin 10 bis 15 % der umgesetzten Stoffmasse ausmacht, ist ein wertvoller Rohstoff für die Pharmazie und Chemie, der in der Vergangenheit zu einem Preis von über 1.400 US-\$/t (Pharmaqualität) gehandelt wurde. Infolge des derzeitigen Überangebots, das durch die rapide gestiegene Biodieselproduktion in Europa hervorgerufen wird, ist der Preis für Pharmaqualität auf ca. 500 US-\$/t und für technische Qualität sogar auf Null gesunken (KRAHL, 2005; BOCKEY, 2005). Alternative Verwertungsstrategien, z.B. als Sprengstoff, Futtermittel, Biogas-Kosubstrat, Düngemittel, sind in Diskussion bzw. Entwicklung.

Wirtschaftlichkeit der Biodieselproduktion

Die Kosten für die Umesterung von Rapsöl zu RME betragen durchschnittlich ca. 0,10 bis 0,15 €/l (MAURER, 2004; VETTER, 2004). Dabei bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagenkonzepten und -größen sowie den Input-Materialien (z.B. durch Einsatz von Altfetten, die kostensenkend wirken, andererseits aber auch höhere Kosten für eine entsprechende Aufbereitung verursachen, um die Qualitätsparameter einzuhalten). Es wird eingeschätzt, dass die o.a. Umesterungskosten im wesentlichen auch für Rizinusölmethylester gelten, wobei ggf. noch zusätzliche Kosten zur Phasentrennung (Destillation) berücksichtigt werden müssen (**Anlage 17**).

Hinsichtlich der Kosten für die Herstellung von Ethylestern können derzeit keine Aussagen getroffen werden. Dies erfordert genauere Untersuchungen zur Technologie und den daraus erforderlichen gegenüber der Methylesterproduktion veränderten Anlagenkonzepten.

4.4 Motorische Nutzung von Pflanzenölestern

Wie bereits erwähnt, werden durch den Umesterungsprozess die kraftstoffrelevanten Kennwerte von Biodiesel denen des mineralischen Dieselmotorkraftstoffs angenähert (**Tab. 9**).

Kraftstoffrelevante Eigenschaften von Pflanzenölestern

Die Moleküle des durch die Umesterung entstandenen Biodiesels sind den Hauptbestandteilen des Dieselkraftstoffs sehr ähnlich, das betrifft insbesondere:

- Viskosität (Fließneigung): sie entspricht etwa der des Dieselkraftstoffs (gegenüber 10 – 15fachen beim Rapsöl) und zeigt zudem eine annähernd gleichen Temperaturabhängigkeit wie Dieselkraftstoff (**Abb. 16**).
- Flammpunkt: er liegt bei handelsüblichem Biodiesel über 100 °C. Damit stellt Biodiesel kein Gefahrgut dar und ist leichter zu handhaben als Dieselkraftstoff.

Tab. 9: Ausgewählte kraftstoffrelevante Kenndaten von Dieselkraftstoff, Pflanzenöl und Biodiesel und im Vergleich (MAURER, 2000; GERING et al., 1982)

Parameter		Diesel- kraftstoff	Pflanzenöl		Rapsöl- Methylester	Biodiesel	
			Rapsöl	Rizinusöl		Rizinus- Methylester	Ethylester
Dichte	g/cm ³	0,85	0,91...0,92	0,95...0,97	0,89...0,90	0,908	0,904...0,906
Viskosität 20°C)	mm ² /s	4,7	67...74	950...990	3,5...5,0	15,2...17,1	14,1
Heizwert	MJ/kg	43,6	37,3...40,5	37,3...39,5	36,4	-	-
Flammpunkt	°C	60	246...317	229...260	> 100	-	-
Cetanzahl	-	51	37...40	42	> 48	-	-
Schwefel	%	0,2	0,001	0,001	< 0,02	-	-
Phosphor	mg/kg	-	10...25	< 4	-	-	-

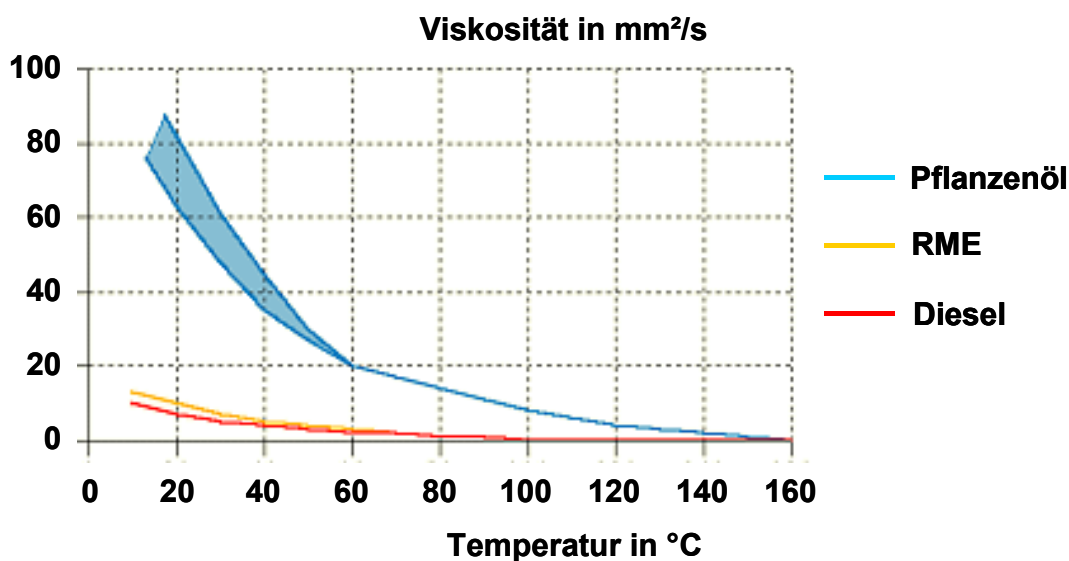


Abb. 16: Abhängigkeit der kinematischen Viskosität von der Temperatur für Rapsölmethylester (Mitte) im Vergleich zu Rapsöl (oben) und Dieselkraftstoff (unten) (CAMPA, 2005)

Durch die Veränderungen der Eigenschaften des Pflanzenöls ist es möglich, Biodiesel in modernen Dieselmotoren und Einspritzsystemen (Pump-Düse, Common Rail) einzusetzen. Die wichtigsten Eigenschaften und Vorteile von Biodiesel im Vergleich zu Dieselkraftstoff lassen sich wie folgt zusammenfassen (WIKIPEDIA, 2004; CAMPA, 2005; UFOP, 2004; MAURER, K. 2000; GOERING, C.E. et al 1982 u.a.):

- Biodiesel senkt deutlich die Ruß-Emission (bis zu ca. 50 %).
- Biodiesel gibt bei der Verbrennung etwa soviel CO₂ ab, wie Pflanzen beim Wachstum aufgenommen haben.
- Biodiesel weist weniger polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe im Abgas auf (PAK sind krebserregend).
- Biodiesel verringert die Kohlenwasserstoff-Emission (bis zu ca. 40 %).
- Biodiesel ist biologisch leicht abbaubar und gefährdet bei Unfällen nicht den Boden und das Grundwasser.
- Biodiesel ist kein Gefahrgut (sein Flammpunkt liegt bei mindestens 100°C, verglichen mit 60 °C bei Dieselkraftstoff).
- Biodiesel besitzt eine hohe Schmierfähigkeit und schont den Motor.

Die Nachteile sind:

- Biodiesel verhält sich sehr aggressiv gegenüber einigen Motor- und Kraftstoffversorgungsteilen, wie Dichtungen, Einspritzdüsen, Einspritzpumpen, Schläuchen, mechanischen Bauteilen, Beschichtungen etc. (Polymerunverträglichkeit). Sind diese Teile nicht speziell für die Biodiesel-Verwendung ausgelegt, können sie angegriffen werden und es besteht die Gefahr von (mitunter sehr teuren) Schäden.
- Biodiesel aus Raps ist stark hygroskopisch³⁸, so dass bei unsachgemäßer Lagerung der Wassergehalt leicht über die für einen störungsfreien Motorbetrieb zulässigen Werte von 500 ppm erhöht (und damit u.a. den Bakterienbefall begünstigt).
- Biodiesel (Raps) hat einen höheren Siedepunkt und anderen Siedeverlauf als Dieselkraftstoff (**Abb. 17**). Da keine leichtflüchtigen Komponenten im Biodiesel enthalten sind, beginnt der Kraftstoff erst bei höherer Temperatur zu verdampfen. Der höhere Siedeverlauf erklärt auch den Effekt der Motorenölverdünnung, wodurch kürzere Ölwechselintervalle erforderlich sind (von Motorenherstellern empfohlen: Halbierung der Ölwechselintervalle).
- Biodiesel (Raps) stockt bei ca. -5 °C bzw. bildet kleine Kristalle, die die Kraftstofffilter verstopfen können, weshalb für die kältere Jahreszeit entsprechende Additive - synthetische Additive, die auch bei Dieselkraftstoff zugesetzt werden - zugegeben werden müssen (sog. „Winterbiodiesel“).

³⁸ Da Rizinusöl wesentlich hygroskopischer ist als Rapsöl, dürfte dieses Problem bei Rizinus-Biodiesel noch gravierender sein (DIEDERING, 2005).

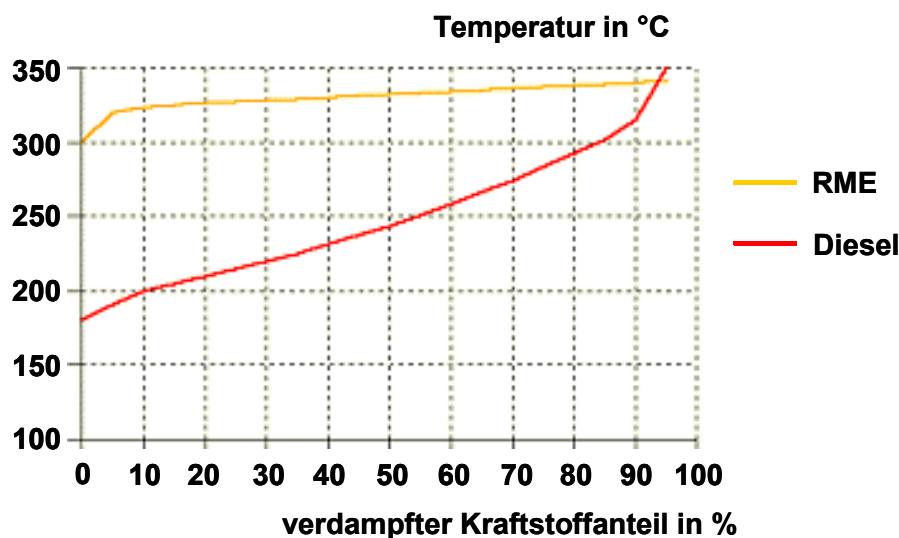


Abb. 17: Siedeverhalten von Rapsmethylester (oben) und Dieselkraftstoff (unten) in Abhängigkeit von der Temperatur (CAMPA, 2005)

Qualitätsanforderungen an Biodiesel

Damit Biodiesel in marktüblichen Dieselmotoren eingesetzt werden kann, sind bestimmte Kennwerte einzuhalten, die in der deutschen Kraftstoffnorm DIN 51606, der europäischen Norm EN 14214 und verschiedenen nationalen Normen festgeschrieben sind (**Tab. 10** und **Anlage 12**). Die Überwachung der Qualität wird in Deutschland seit 1999 durch die Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (AGQM) übernommen.

Tab. 10: Europäische Norm für Biodiesel DIN EN 14214

Eigenschaften	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren
		Min.	Max.	
Ester-Gehalt	% Masse	96,5	-	pr EN 14103
Dichte 15°C	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Flammpunkt	°C	> 101	-	ISO/CD 3679
Schwefelgehalt	mg/kg	-	10	
Koksrückstand (von 10 % Destillationsrückstand)	% Masse	-	0,3	EN ISO 10370
Cetanzahl		51,0	-	EN ISO 5165
Asche-Gehalt (Sulfat-Asche)	% Masse	-	0,02	ISO 3987
Wassergehalt	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Gesamtverschmutzung	mg/kg	-	24	EN 12662

Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50°C)	Korrosionsgrad	1	-	ENISO 2160
Thermische Stabilität				
Oxidationsstabilität, 110°C	Stunden	6,0	-	pr EN 14112
Säurezahl	mg KOH/g	-	0,5	pr EN 14104
Iodzahl		-	120	pr EN 14111
Gehalt an Linolensäure- Methylester	% Masse	-	12	pr EN 14103
Gehalt an Fettsäure-Methylestern mit mehr als 3 Doppelverbindungen	% Masse	-	1	
Methanol-Gehalt	% Masse	-	0,2	pr EN 14110
Monoglyzerid-Gehalt	% Masse	-	0,8	pr EN 14105
Diglyzerid-Gehalt	% Masse	-	0,2	pr EN 14105
Triglyzerid-Gehalt	% Masse	-	0,2	pr EN 14105
Gehalt an freiem Glycerin	% Masse	-	0,02	pr EN 14105 pr EN 14106
Gehalt an Gesamtglyzerin	% Masse	-	0,25	pr EN 14105
Gehalt an Alkali-Metallen (NA+K)	mg/kg	-	5	pr EN 14108 pr EN 14109
Phosphor-Gehalt	mg/kg	-	10	pr EN 14107

Einsatzerfahrungen mit Biodiesel

Um beim Fahren mit Biodiesel keine Garantieansprüche gegenüber den Motoren- bzw. Fahrzeugherstellern zu verlieren, ist für die Nutzung von Biodiesel trotz der generellen Motortauglichkeit eine Freigabe Voraussetzung, welche der Kfz-Hersteller erteilt. Er ersetzt z.B. alle Dichtungen und Schläuche, die mit RME in Berührung kommen, durch beständige Materialien wie Fluorkautschuk (Viton) oder Perbunan (Nitril). Eine vollständige Liste der in Deutschland für Biodiesel zugelassenen Kraftfahrzeuge hat die Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Berlin zusammengestellt (Internet: www.ufop.de/2_2_1_4).

Inzwischen gibt es in Deutschland und Österreich mehr als 15 Jahre Erfahrungen beim Einsatz von Biodiesel, die nach MAURER (2000), WOLF (1993), RAKEL (2005), REMMELE (2005), KRAHL (2005) u.a. wie folgt zusammengefasst werden können:

- Es treten praktisch keine bzw. nur geringe (bis 5 %) Leistungseinbußen gegenüber Dieselkraftstoffs auf. In einigen Prüfstandsversuchen zeigte sich, dass im unteren Leistungs- und Drehzahlbereich z.T. höhere Motorleistungen als beim Betrieb mit Dieselkraftstoff erreicht werden.
- Der Mehrverbrauch gegenüber Dieselkraftstoff beträgt etwa 5 bis 8 Vol-% und liegt damit unter den „fahrerbedingten“ Verbrauchsunterschieden, d.h. entscheidend ist eher der Fahrstil als der Kraftstoff (volumetrisch ist der Heizwert von Biodiesel aufgrund der höheren Dichte nahezu identisch mit dem von Dieselkraftstoff).

- Der Motorenverschleiß ist geringer als bei Dieselkraftstoff, da Biodiesel über gute Schmiereigenschaften verfügt.
- Die Schadstoffemissionen sind je nach Motorbauart mehr oder weniger geringer als bei Dieselkraftstoff (vgl. Kap. 5).
- Die Qualität des Biodiesels bestimmt wesentlich die Einsetzeigenschaften. Höherer Wassergehalt (Biodiesel ist hygroskopisch) und Verschmutzungen/Verunreinigungen des Biodiesels als in der Norm zulässig, führen schnell zu Verstopfungen der Kraftstofffilter bis hin zu Motorausfällen. Dabei werden nicht nur hohe Anforderungen an die Herstellung des Biodiesels sondern insbesondere auch an die Lagerung des Biodiesels gestellt. Sinnvoll sind nicht nur die Dimensionierung der Biodiesellagertanks im Hinblick auf kurze Umschlagzeiten sondern auch die Überprüfung der Biodieselqualität im Tank sowie der Dichtheit der Tankverschlüsse und -anschlüsse und die vollständige Entleerung und Reinigung der Tanks (in angemessenen Zeiträumen von 1 bis 2 Jahren je nach Biodieselumsatz).
- Durch seine biologische Unbedenklichkeit ist Biodiesel besonders für den Einsatz in umweltsensiblen Bereichen, wie zum Beispiel in der Land- und Forstwirtschaft und in Wasserschutzgebieten oder Binnenseen geeignet.

Als Nachteile werden genannt:

- Einsatz nur in biodieseltauglichen Motoren möglich. Bei nicht biodieseltauglichen Motoren bzw. Einspritzpumpen treten Leistungsverluste, defekte Einspritzpumpen (insbesondere bei Lucas-Pumpen) und Motordefekte auf.
- Es kann zum Kraftstoffeintrag ins Motoröl bei direkteinspritzenden Dieselmotoren kommen. Dieses Problem besteht meist dann, wenn der Motor während seiner Betriebsdauer mit langen Leerlauf- und Teillastphasen betrieben wird³⁹.
- Derzeit ist kein Biodieselbetrieb mit Serien-Partikelfiltern möglich (KRAHL, 2005).

Ein Vorteil des RME kann sich im praktischen Einsatz in Kraftfahrzeugen auch als Nachteil auswirken: Die gute biologische Abbaubarkeit. Sie geht einher mit einer schlechten Alterungsbeständigkeit. Bakterienbefall, Oxidation und Wasseranreicherung verschlechtern die Eigenschaften des RME nach langer Lagerung. RME wird deshalb für selten bewegte Fahrzeuge weniger empfohlen. Überaltertes RME (bzw. RME schlechter Qualität) kann zu Korrosion und/oder erhöhtem Verschleiß an elementaren Teilen der Einspritzpumpe führen. Die Folgen sind Funktionsstörungen und vorzeitiger Ausfall.

Erfahrungen im Nutzfahrzeugbereich zeigen, dass es nach mehrjährigem Verbrauch von Biodiesel zu Schädigungen der Kraftstoffpumpe kommen kann. Auch Korrosions-

³⁹ Mit sinkender Spritzmenge sinkt auch die Zerstäubungsqualität der Einspritzdüse, wodurch tendenziell mehr unverbrannte Kraftstofftröpfchen an die Zylinderwand und damit in den Schmierkreislauf gelangen. Da RME einen höheren Flammpunkt hat, dünstet es im heißen Motoröl praktisch nicht mehr vollständig aus, was zu einer schleichenen Erhöhung der Kraftstoffkonzentration im Motoröl führt. Nun kommt die mangelhafte chemische Stabilität des RME zum Tragen: Durch hohe örtliche Temperaturen im Schmierkreislauf zersetzt sich RME allmählich (Verseifen, Verkokung, Polymerisation), was zu festen oder schleimartigen Rückständen führt. Dies und die allgemeinen Verschlechterungen der Schmiereigenschaften des Motoröls bei hoher Kraftstoffkonzentration kann zu erhöhtem Motorverschleiß führen. Aufgrund dessen wird beim RME-Betrieb häufig ein kürzeres Ölwechselintervall empfohlen.

schutzschichten, wie Zink, können von Biodiesel angegriffen werden, das hat 1999 eine Untersuchung der Darmstädter Materialprüfungsanstalt gezeigt. Kritisch war hierbei, dass Biodiesel leicht hygroskopisch wirkt, und dass dadurch die freien Fettsäuren den pH-Wert senken. Durch eine Beimischung konventionellen Dieselkraftstoffs wird dieser Effekt allerdings vollständig verhindert.

4.5 Motorische Nutzung von Mischkraftstoffen

Eine andere Möglichkeit, Pflanzenöl und Biodiesel als Kraftstoff zu verwenden, ist deren Mischung mit konventionellen, meist fossilen Kraftstoffen oder ähnlichen Substanzen.

Mischungen von Pflanzenöl und Dieselkraftstoff

Die Mischung von Rapsöl zu Dieselkraftstoff im Verhältnis bis 50:50 wird seit einigen Jahren mehr oder weniger erfolgreich praktiziert (SPEIDEL, 2004; MAURER, 2004; MAACK, 2005; LEITFADEN, 2004). Allerdings können auf der Grundlage dieser überwiegend in Privatinitiative gesammelten Erfahrungen keine allgemeinen Empfehlungen abgeleitet werden. Immer wieder wird von Startproblemen, stärkeren Motorgeräuschen, Verstopfungen der Kraftstofffilter und Ausfällen bei der Kraftstoffförderung (insbesondere bei kälteren Temperaturen, da es bereits bei Temperaturen um 5 bis 7 °C zu kristallförmigen bzw. klumpigen Niederschlägen des Pflanzenöls im Dieselkraftstoff kommt). Bei von der Universität Rostock begleiteten mehrjährigen Einsatzversuchen von Rapsöl-Dieselmischungen in mehreren Traktoren werden deren prinzipielle Eignung bestätigt, jedoch auch die o.a. Probleme (MAACK, 2005). Aus diesem Grunde wird vom Einsatz von Pflanzenöl-Dieselmischungen abgeraten. Ursachen für aufgetretene Störungen sind nach MAACK (2005) vor allem Qualitätsprobleme des Rapsöls (zu hoher P-Gehalt).

Bei der Zumischung werden normalerweise keine Veränderungen am Motor vorgenommen. Eine elektrische Motorvorwärmung begünstigt jedoch den störungsfreien Betrieb und schont den Motor. Die Empfehlungen für den Gebrauch von Pflanzenöl-Dieselmischungen (LEITFADEN, 2004) lauten wie folgt:

- Dieselkraftstoff und Pflanzenöl gut mischen, beim Mischen im Tank stets zuerst Dieselkraftstoff tanken und danach Pflanzenöl. Besser sind Einsatz einer speziellen Mischanlage oder entsprechende Mischeinrichtungen in der Zapfpistole (Zwei-Kraftstoff-Pistolen) und in der Kraftstoffleitung (Einbau von speziellen Verwirbelungskörpern).
- Bei niedrigeren Temperaturen weniger Pflanzenöl zumischen.
- Längere Stand- bzw. Lagerzeiten von Gemischkraftstoff (in Stationärtanks oder im Fahrzeugtank) vermeiden (Gefahr der Entmischung/Bodensatzbildung und Alterung).
- Motor gut auslasten, Leerlauf möglichst vermeiden.

- Tägliche Motorölkontrolle (Ölwechselintervalle evtl. verkürzen).
- Motorcheck (intakte Einspritzdüsen, genügend Kompression, Funktion der Glühkerzen prüfen) (bei Flammstartanlage ist Vorsicht geboten, deshalb Erkundigungen über Eignung für Mischbetrieb einholen).
- Ersatzfilter mitführen.
- Nur Pflanzenöl nach RK-Qualitätsstandard 05/2000 verwenden (**Anlage 11**).

Ein bereits Mitte der 90er Jahre untersuchtes Verfahren (VEBA-Verfahren) erlangt scheinbar wieder Bedeutung: die Beimischung von Pflanzenölen zu Rohöl (oder deren alleinige Verarbeitung) in der Raffinerie und deren Umwandlung zu hochwertigen „high-end“-Dieselkraftstoffen. Erfolgreiche Großversuche bei BP haben nach WALTHER (2004) gezeigt, dass dadurch einerseits das Spektrum der verwertbaren Pflanzenöle erweitert und andererseits durch die raffinerietechnische Hydrierung reine Kohlenwasserstoffe mit dieseltypischen Komponenten erzeugt werden können. Allerdings muss bei diesem Verfahren die energetische und wirtschaftliche Effizienz geprüft werden

Mischung von Biodiesel und Dieselkraftstoff

Die Beimischung von geringen Anteilen RME zu Dieselkraftstoff ist relativ unproblematisch. So wird in Frankreich dem Dieselkraftstoff bis 5 % Biodiesel hinzugefügt, da dieser Biodiesel-Anteil auch für nicht vorbereitete Fahrzeuge als unbedenklich gehandelt wird und genau diejenige Menge Biodiesel beigemischt wird, die die französische Landwirtschaft in der Lage ist zu produzieren. Dadurch werden technische Nachteile (Korrosion, Aufweichen s.o.) vermieden und weitgehend (unauffällig) der Marktanteil des Biodiesels erhöht (WIKIPEDIA, 2004). In Deutschland werden seit Februar 2005 an den Tankstellen von BP bis zu 5 % Biodiesel (nach DIN EN 14214) beigemischt. Der Mischkraftstoff erfüllt die für Dieselkraftstoff geltende Kraftstoffnorm DIN EN 590 (WALTHER, 2004).

Ein weiterer Aspekt ist, dass derzeitige Partikelfilter - im Gegensatz zu Oxidationskatalysatoren - (noch) nicht für Biodiesel geeignet sind, wodurch wahrscheinlich der Einsatz von 100 %igem Biodiesel langfristig durch die Zumischung zu Dieselkraftstoff verdrängt werden wird (SIEVERDING, 2004).

Sonstige Pflanzenöl-Kraftstoffgemische

Hierzu gab es in der Vergangenheit eine Reihe von Versuchen (MAURER, 2000). Durch Additivierung von Rapsöl mit verschiedenen Zusätzen (z.B. Benzin, Ethanol, Propanol) sollte erreicht werden, dass der Mischkraftstoff anstelle von Dieselkraftstoff in direkteinspritzenden Dieselmotoren zu verwenden ist. In **Anlage 13** sind einige der untersuchten Mischkraftstoffe im Vergleich zu Biodiesel, Rapsöl und Dieselkraftstoff zusammengestellt. Außer Biodiesel sind allenfalls Esterol 20, das versuchsweise in Schweden gefah-

ren wurde, und RG 4A, das in der Schweiz erprobt wurde, als Kraftstoff für direkteinspritzende Dieselmotoren geeignet (MAURER, 2000). Gründe dafür sind, dass die anderen Mischungen zu veränderten Motorengeräuschen und verschlechtertem Startverhalten führten.

Bekannt ist auch die Verwendung von Rizinusöl in Kraftstoffgemischen für schnelllaufende Zweitaktmotoren, insbesondere für motorbetriebene Modelle (Flug-, Schiffs- und Fahrzeugmodelle) sowie für Mopedmotoren. Dabei macht man sich vor allem die guten Schmiereigenschaften (hohe Viskosität und die verschiedentlich genannte Hitzebeständigkeit) zunutze (KAMPMANN, 2005; SCHUSTER, 1992).

5 Umweltaspekte der Produktion und energetischen Nutzung von Rizinus

Wie die Erfahrungen in Europa zeigen, haben erneuerbare Energieträger wie Pflanzenöl und Biodiesel, langfristig nur dann eine Chance, wenn ihre Produktion und Nutzung umweltverträglich erfolgen. Für eine umfassende Bewertung der Umweltverträglichkeit muss der gesamte Lebensweg betrachtet werden, und zwar Anbau, Ernte, Aufbereitung und ggf. Umesterung inkl. der Rückstandsverwertung, Transport und Lagerung sowie insbesondere die energetische Nutzung inkl. der Emissionen. Grundsätzlich sollten zwei ökologische Bereiche betrachtet werden:

1. Bereiche, die alle vor- und nachgelagerte Bereiche der Produktion und Nutzung von Rizinus einschließlich der Alternativnutzen betrachten und durch Ökobilanzen beschrieben werden. Dazu gehören über die gesamten Lebenswege hinweg betrachteten (Produktion von Dünger, Pestizide, landwirtschaftlicher Anbau, Ernte, alle Transporte, Verarbeitung, Nutzung von Öl und Kuchen, Reststoffbetrachtung, Alternativnutzen, d.h. konventionelle Dieselproduktion und -nutzung, Äquivalente Nutzung des Presskuchens etc.) Umweltwirkungen, wie
 - Ressourcenschonung energetischer Ressourcen (Energiebilanzen)
 - Ressourcenschonung anderer Ressourcen (Rohstoffe etc.)
 - Treibhauseffekt
 - Versauerung
 - Eutrophierung
 - Abbau der Ozonschicht
 - Photosmog
 - Human- und Ökotoxizität
2. Bereiche, die die Umwelteinwirkungen vor Ort beschreiben und üblicherweise über andere Instrumente wie die Umweltverträglichkeitsprüfung abgedeckt werden. Bei der Rizinusölproduktion scheinen folgende Aspekte besonders wichtig zu sein:
 - Biodiversität, inkl. Artenvielfalt, genetische Vielfalt, funktionierende Biosphären etc.
 - Eutrophierung
 - Ggf. Biozideinsatz
 - Bodenfruchtbarkeit
 - Wasserhaushalt
 - Erosion
 - Toxizität (Samen und Pressrückstände)

Dabei wird insbesondere auch die Frage im Vordergrund stehen, welche alternativen Landnutzungsformen ansonsten in Frage kämen (andere Nahrungsmittel, andere Pflanzenöle oder nachwachsende Rohstoffe, naturbelassene Flächen etc.). Dies wird beide Schwerpunkte, Ökobilanz und UVU, betreffen. Weitere Randbedingungen wären dann, wie die Einzelprodukte verwendet werden, was sie substituieren etc. Da diese Rahmenfestlegungen (Systemgrenzen) insbesondere auch von ökonomischen und gegebenenfalls sozialen Aspekten abhängen, müssten diese Festlegungen in Abstimmung mit diesen Bereichen erfolgen und eine Art Gesamtanalyse erfolgen.

Der Großteil dieser Untersuchungen, insbesondere die Produktionsprozesse, muss vor Ort erfolgen. Für eine umfassende und objektive Bewertung der Umweltverträglichkeit von Bioenergieträgern liegen in Deutschland zahlreiche Erfahrungen, Methoden und Ergebnisse vor (REINHARDT, 1993; BORKEN, PATY und REINHARDT, 1999; SCHOLZ, 1997; SCHOLZ, BERG und KAULFUSS, 1998; SCHOLZ und ELLERBROCK, 2002; SCHOLZ, HELLEBRAND und HÖHN, 2004; FRITSCH et al., 2004; SCHOLZ und GRUNDMANN, 2004; FRITSCH, HÜNECKE und WIEGEMANN, 2005).

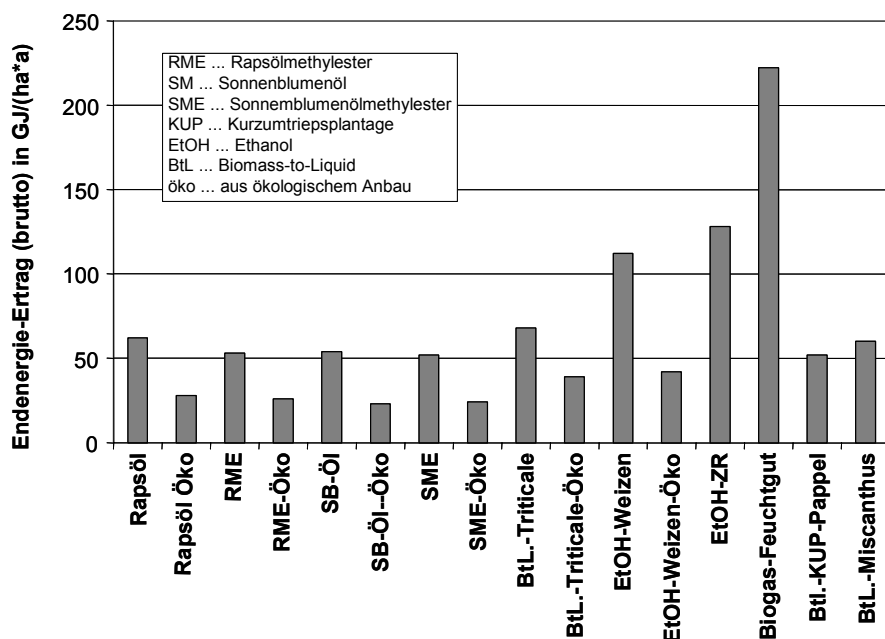


Abb. 18: Brutto-Energieerträge von Biokraftstoffen aus Energiepflanzen in Deutschland (2010) nach FRITSCH, HÜNECKE und WIEGEMANN (2005)

Wichtige Kriterien zur Kennzeichnung der energetischen Effizienz der Biokraftstoffproduktion sind der Netto-Energiegewinn und der (Brutto-) Energieertrag pro Flächeneinheit. Ersterer bedarf umfangreicher Analysen und Recherchen vor Ort. Letzterer lässt sich aus dem Ölertrag und dem Heizwert relativ einfach berechnen. Wird von dem derzeitigen Weltdurchschnitt des Samenertrags von 1,1 t/ha ausgegangen, so beträgt er

für Rizinusöl etwa 17 GJ pro Hektar und Jahr und liegt damit im unteren Bereich vergleichbarer Biokraftstoffe in Deutschland (**Abb. 18**). Allerdings können unter optimalen Anbaubedingungen möglicherweise weit höhere Rizinus- bzw. Energieerträge erzielt werden (s. **Anlage 1**), so dass der für die Umweltverträglichkeit der Produktion maßgebliche Energiegewinn evtl. günstiger als bei vielen anderen Biokraftstoffen ist.

Tab. 11: Relative Schadstoffemissionen von Rapsöl und Rapsölmethylester beim Motorbetrieb im Vergleich zu konventionellem Dieselmotorkraftstoff nach KRAHL et al. (2002)

Komponente	Rapsöl		RME	
Limitierte Komponenten				
Kohlenwasserstoffe (HC)	210 %	IDI	70 %	IDI
	110 %	DI	80 %	DI
Kohlenmonoxid (CO)	180 %	IDI	70...90 %	IDI
	115 %	DI	100 %	DI
Stickoxide (NO _x)	100 %		110 %	
Partikelmasse (PM)	320 %	inst. IDI	100 %	DI
	90 %	stat. IDI	60...80 %	
	80 %	DI		
Rußzahl	55 %		60 %	
Nichtlimitierte Komponenten				
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	10...75 %	FTP-75 (13,5)	75 %	inst.
Aldehyde	240 %	ECE-15	75 %	13
			1500 %	13
			15 %	5
Aromaten darunter Benzol	280 %		120 %	
			400 %	FTP
Aromaten darunter Benzol	135 %		60 %	
	160 %		70 %	
			135 %	

IDI: Indirekte Einspritzung; DI: Direkte Einspritzung; stat: Stationärer Test; inst: Instationärer Test

ECE-15: Testmethode nach Economic Commission for Europe

FTP-75: Federal Test Procedure; 5- bzw. 13-Stufen-Test

Zur dieselmotorischen Verbrennung von Pflanzenöl und Pflanzenölestern wurden u.a. in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) umfangreiche Untersuchungen, einschließlich Emissionsmessungen, durchgeführt (KRAHL, MUNACK und BAHADIR, 1994; KRAHL, VELLGUTH, MUNACK et al. 1996; KRAHL, 2001; KRAHL et al. 2005. In dieser Forschungseinrichtung wurde u.a. nachgewiesen, dass die Schadstoffemission bei Rapsöl in der Regel höher und bei Rapsmethylester überwiegend geringer als bei konventionellem Dieselmotorkraftstoff sind (**Tab. 11**). Aufgrund der hervorragenden biologischen Abbaubarkeit und der Eignung für lokale Energie- bzw. Wirtschaftskreisläufe findet qualitativ geeig-

netes natives Pflanzenöl dennoch gewisse Nischenanwendungen, insbesondere im ländlichen Raum und in umweltsensiblen Bereichen.

Tab. 12: Aktuelle und künftige europäische Abgasgrenzwerte für Dieselmotoren mit einem Zylindervolumen > 0,7 l (ESC-Test)

Norm	Jahr	Kohlenmonoxid	Kohlenwasserstoffe	Stickoxid	Partikel
		CO g/kWh	HC g/kWh	NO _x g/kWh	PM mg/kWh
EURO III	2000	2,1	0,66	5,0	100
EURO IV	2005	1,5	0,46	3,5	20
EURO V	2008	1,5	0,46	2,0	20

ESC: European Stationary Cycle

Die derzeitige Norm EURO IV und insbesondere die künftige europäische Abgasnorm EURO V dürfte damit jedoch kaum einzuhalten sein (**Tab. 12**). Letzteres gilt im übrigen auch für Rapsölmethylester (RME), das nach den Qualitätsanforderungen der DIN EN 14214 hergestellt wird. Hier sind daher neue technische Lösungen für LKW-Motore in Entwicklung, wie das SCR-System und der PM-Katalysator, mit denen die NO_x- und Partikelgrenzwerte wahrscheinlich eingehalten werden können.

Ausblickend ist festzustellen, dass sich Biokraftstoffe auf Pflanzenölbasis wahrscheinlich zukünftig nur dann auf dem Markt behaupten werden, wenn sie den Abgasnormen Euro IV, V und vermutlich VI genügen. Dazu müssen sich die Biokraftstoffe hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften an die neuen und zukünftigen Motorenkonzepte anpassen. Dieses kann nur in einem systemtechnischen, motor- und kraftstoffseitigen Forschungsansatz gelingen, der auch die immer komplexer werdende Abgasnachbehandlung einschließt (KRAHL, 2005).

6 Zusammenfassung

Rizinus (Mamona) ist eine relativ anspruchslose Ölpflanze, die unter tropischen Bedingungen hervorragend gedeiht und hohe Erträge liefert (im Mittel ca. 460 kg Öl/ha; Maximal > 2.000 kg Öl/ha), allerdings einen hohen (Hand-) Arbeitsaufwand erfordert. Insofern könnte sie eine für die kleinbäuerlichen Strukturen im Nordosten Brasiliens geeignete Kultur sein, die sowohl einen Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen als auch zur umweltverträglichen ggf. dezentralen Energieversorgung leisten kann.

Gegenüber anderen Pflanzenölen zeichnet sich das Öl der Rizinuspflanze durch seine Löslichkeit in Alkohol (u.a. Ethanol), seinen hohen Anteil an Rizinolsäure (> 82 %), seine hohe Hydroxyl-Zahl (>160) und insbesondere durch seine extrem hohe Viskosität (> 290 mm²/s) aus. Damit ist es nicht nur als Schmiermittel und für pharmazeutische und kosmetische Produkte prädestiniert, sondern auch als (nachwachsender) Rohstoff für die chemische Industrie.

Weltweit werden derzeit etwa 550.000 t Rizinusöl (1,3 Mio t Samen) pro Jahr produziert, wozu Brasilien mit etwa 10 % beiträgt (1970: 60 %). Etwa die Hälfte davon wird exportiert; nach Deutschland z.B. 30.000 bis 35.000 t/a (vorwiegend aus Indien). Der Rizinusölmarkt ist relativ stabil und hat sich in den letzten 15 Jahren nur wenig verändert. Jährliche Produktionsschwankungen und Spekulationen führen allerdings zu erheblichen Preissprüngen. Mit durchschnittlich 900 US-\$/t (ex Rotterdam) ist der Rizinusölpreis fast doppelt so hoch wie der Rapsölpreis in Europa. Falls Brasilien eine Erweiterung des Exports von traditionellem Rizinusöl ins Auge fassen sollte, müsste der Preis also unter dem o.g. Weltmarktpreis liegen und die Qualität des Öls, z.B. nach dem ICOA-Standard oder der DIN 55939, gewährleistet werden. Der Übersee-Verkauf von Rizinusöl oder Rizinusölester als Kraftstoff ist eher unwahrscheinlich, denn erstens müsste der Preis unter dem Rapsölpreis (ca. 500 €/t) bzw. Rapsmethylesterpreis (ca. 600 €/t) bleiben und zweitens müssten die deutschen bzw. europäischen (Vor-) Normen für Rapsöl (DIN 51605) bzw. Biodiesel (DIN EN 14214) eingehalten werden. Wobei noch unklar ist, ob die Rapsölstandards für Rizinusöl überhaupt angewendet werden können.

Die Einhaltung dieser Normen erscheint relativ schwierig, weil trotz der unsicheren Datenlage bekannt ist, dass bei handelsüblichem Rizinusöl im Vergleich zu motortauglichem Rapsöl

- die Dichte um 2 bis 5 %
- die Viskosität bei 40 °C um ca. 500 bis 700 %
- der Wassergehalt um 100 bis 300 %

höher ist.

Probleme könnten in Abhängigkeit von der Verfahrensführung auch die Gesamtverschmutzung, die bei Rapsöl-Kraftstoff 25 mg/kg nicht überschreiten darf, sowie die Säurezahl und der Phosphorgehalt bereiten. Andererseits liegen der Heizwert mit 37,3 bis

39,5 MJ/kg und die Cetanzahl mit ca. 42 im Bereich von Rapsöl. Das Lagerverhalten (Oxidationsstabilität) dürfte sogar wesentlich günstiger sein.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Rizinusöls werden sich teilweise auch im Ester wiederfinden. Das gilt insbesondere auch für die Viskosität, die nach der europäischen Biodieselnorm DIN EN 14214 im Bereich von 3,5 bis 5,0 mm²/s liegen muss, und für den Wasseranteil. Daraus folgt, dass eine Exportsteigerung von Rizinus-(Rohöl) nur im konventionellen (stofflichen) Marktsegment realisierbar ist und der Verkauf von Rizinusöl-Methyl/Ethyl-Ester nach Europa wegen des relativ geringen Preises und der Qualitätsnorm des hier erzeugten Rapsmethylesters recht schwierig sein dürfte. Sollte sich bei den hierzu erforderlichen Untersuchungen herausstellen, dass mit herkömmlichen Veresterungstechnologien, die in Brasilien möglichst auf Bioethanol basieren sollten, die europäische Biodieselnorm nicht einzuhalten ist, muss entschieden werden, ob der so gewonnene Rizinusölethylester den Anforderungen inländischer Motorenhersteller oder Kraftstofflieferanten genügt, was bei einer Zumischung von $\leq 5\%$ Biodiesel zu mineralischem Dieselkraftstoff technisch durchaus vorstellbar ist, und/oder ob eine neue bzw. angepasste Umesterungstechnologie entwickelt werden sollte.

Unabhängig davon ist die Eignung des Rizinus-(Roh-)öls als Motorkraftstoff zu prüfen, indem unter Bezugnahme auf den vorliegenden Rapsölkraftstoff-Standard bzw. die Vornorm DIN 51506 die Parameter ermittelt und Prüfstandsuntersuchungen mit geeigneten Pflanzenölmotoren durchgeführt werden. Aufbauend darauf könnten ggf. brasilianische Motorenhersteller und deutsche Umrüster gemeinsam geeignete Rizinusölmotore bzw. Komponenten entwickeln. Selbst wenn die bisherigen Erfahrungen zum Pflanzenöleinsatz in Deutschland, der bislang führenden Nation auf diesem Gebiet, noch keine gesicherten Langzeitprognosen erlauben, ist nicht auszuschließen, dass bei entsprechendem Engagement einer leistungsfähigen Motorenindustrie, wie sie in Brasilien besteht, zuverlässige Pflanzenöl-Motore für den mobilen und stationären Einsatz entwickelt werden könnten.

7 Abstract

The castor (*Rizinus communis L.*) is a modest oil plant which grows well in tropical regions and is, in principal, appropriate as an energy source in the rural areas of the northeast of Brazil. The yield of oil is 500 kg/ha on average and reaches up to 2,000 kg/ha locally. Presently about 550,000 t of oil are produced annually in the world, to which Brazil contributes with only 10 %, this having been more than 60 % formerly. Most of the oil is used by the chemical and pharmaceutical industries of Europe, the USA and Japan. The question is whether castor oil or its derivatives can also be used as an engine fuel. The present literature study commissioned by the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (GTZ) will try to answer this question.

Compared to rape seed oil, the density of castor oil is higher by 2 % to 5 %, the water content by 100 % to 300 % and the viscosity by 500 % to 700 %. Although the oxidation stability is better than that of rape seed oil and the heating value is similar, the viscosity ($> 290 \text{ mm}^2/\text{s}$) seems to be the main problem for the use of natural castor oil in diesel engines. It is therefore necessary to develop special engines, requiring a strong commitment by the engine industry. The adaptation of diesel engines with a simple kit - as is presently being tested for rape seed oil in Germany - seems to be insufficient. In addition to the engine development, a quality standard similar to the rape seed fuel standard (RK-Qualitätsstandard resp. DIN 51506) in Germany also has to be developed.

The processing of vegetable oil producing methyl or ethyl ester changes the fuel properties, so that the so called biodiesel can be used in many modern diesel engines. Whether the methyl or ethyl ester from castor oil is also suited is until now unclear. Its high viscosity may also present a problem here. Nevertheless, there may be a possibility of mixing it with conventional diesel fuel by up to 5 %, provided that the national, e.g. Brazilian, fuel standard permits this.

In the case of exporting biodiesel on the basis of castor oil, the various national biodiesel standards such as the European Norm DIN EN 14214 have to be kept to. Furthermore, the price should be lower than that of e.g. rape biodiesel which may be hard to reach as castor oil has nearly double the price of rape seed oil on the world market.

However, castor is easy to cultivate, suited for small farming and could improve living conditions in rural areas. It could therefore be a very interesting energy source for electricity and transport if the technical problems were solved.

Quellenverzeichnis

- ALBERDINGK BOLEY (2005):** Lieferprogramm und Anwendungen. Alberdingk Boley GmbH, Krefeld
- ALI R. M. (2002):** Effect of nicotinic acid and nicotinamide adenine dinucleotide on growth and content of oil, glycerol and ricinine alkaloids of salinity stressed *Ricinus communis* L. *Phyton* (Horn), 42, 2, S. 269-277
- ANANYEVA O. N., RUDYUK V. F. (1978):** Study of certain properties of lipases from castor-oil plant (*Ricinus communis*) and sunflower (*Helianthus annuus*) seeds. *Prikladnaya Biokhimiya i Mikrobiologiya*, 14, S. 1
- ANONYMUS (2003):** Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
- ANOSIKE EO., EGWUATU CK. (1980):** Biochemical changes during the fermentation of castor oil (*Ricinus communis*) seeds for use as a seasoning agent. *Qualitas Plantarum - Plant Foods for Human Nutrition*, 30, 3 / 4, S. 181-185
- AGQM (2005):** online www.agqm-biodiesel.de
- ARANEZ A. T., SIEMONSMA J. S., WULIJARNI-SOETJIPTO N. (1989):** Oil-producing Euphorbiaceae: *Ricinus communis* L. and *Jatropha curcas* L. *Plant Resources of South-East Asia. Proceedings of the First PROSEA International Symposium, 22-25 May 1989, Jakarta, Indonesia*, S. 251-252
- ÄRZTEBLATT (2004):** Dtsch Arztebl 2004; 101: A 2623–2626 [Heft 39] (zitiert in: www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikel.asp?id=43534)
- BACCARAROSE (2004):** online www.baccararose.de
- BADAMI RC., PATIL KB. (1981):** Structure and occurrence of unusual fatty acids in minor seed oils. *Progress in Lipid Research*, 19, 3 / 4, S. 119-153
- BANZATTO N. V., CANECCHIO FO., V.; SAVY FO., A. (1977):** New cultivar of castor oil plant (*Ricinus communis*; L.) 'Guarani'. (Novo cultivar de mamoneira (*Ricinus communis*; L.) 'Guarani'). *Ciencia e Cultura*, 29, S. 13 ff.
- BATEL W. et al. (1980):** Pflanzenöle für die Kraftstoff- und Energieversorgung, Braunschweig-Völkenrode, *Grundl. Landtechnik* 30 2, S. 40-51
- BIODIESEL-KURIER (2005):** Firmenpublikation der Fa. IBG Monforts Oekotec GmbH, Mönchengladbach, 01/2005
- BIOBLATT (2004):** online www.bioblatt.de
- BIOMEDICUS (2004):** online www.biomedicus.de/phyto/rizinus.htm
- BOCKISCH M. (1993):** Nahrungsfette und -öle. In: *Handbuch der Lebensmitteltechnologie*. Verlag Ulmer Stuttgart
- BOCKEY D. (2004):** Biodieselproduktion und Vermarktung in Deutschland Situationen und Perspektiven. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Berlin
- BOCKEY D. (2005):** Persönliche Mitteilung. Ufop Berlin, 21.02.2005
- BOKERMANN R. (2005):** Investitionen und Deckungsbeitragsrechnung für die Herstellung von Pflanzenöl, schriftliche Mitteilung, 19.01.2005
- BONJEAN A., LE RICIN. (1988):** *Journal of American Oil Chemists Society*, Vol. 65 12
- BORCH-JENSEN C., JENSEN B., MATHIASSEN K., MOLLERUP J. (1997):** Analysis of seed oil from *Ricinus communis* and *Dimorphoteca pluvialis* by gas and supercritical fluid chromatography. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74, 3, S. 277-284

- BORKEN J., PATYK A., REINHARD G.A. (1999):** Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Einsatz von Nutzfahrzeugen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden,
- BOTANIKUS (2004):** online www.botanikus.de/Gift/rizinus.html
- BRENDÖRFER M. (2004):** Mündliche Mitteilung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) Darmstadt, 15.01.2004
- BRIGHAM R.D. (1996):** Castor-Return of an old crop. In: J. Janick, Progress in new crops. ASHS press, Alexandria p. 380-383
- CAMPA (2005):** online www.campa-biodiesel.de
- CIGR HANDBOOK (1999):** CIGR Handbook of Agricultural Engineering-Energy and Biomass Engineering. Volume V, ASAE St. Joseph
- DATENBLATT (2005):** Datenblatt für Unternehmer/FAS/Betriebsrat Rizinusöl: CAS-NR 8001-79-4, Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie – www.gischem.de/e5_prod/dokart_kompl.htm?view_search, 08.01.2005
- DAVIDS B. (2005):** Persönliche Mitteilung. Alberdingk Boley GmbH Krefeld, 07.01.2005
- DEMIRABAS A. (1998):** Fuel Properties and calculation of higher heating values of vegetable oils. Fuel, Nummer 9/10, S. 1117-1120
- DIEDERING M. (2005):** Mündliche Mitteilung. Alberdingk Boley GmbH Krefeld, 24.01.2005
- DIN 55939 (1999):** Bindemittel für Beschichtungsstoffe - Rizinusöl - Anforderungen und Prüfung. Dt. Institut für Normung e.V., 1992 (letzte Ausgabe 1999-06)
- DIN EN 14214 (2003):** Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren. Dt. Institut für Normung e.V., Nov. 2003
- DIN EN 590 (2004):** Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Dieselkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren. Dt. Institut für Normung e.V., 2004-03
- DIN 51506 (2005):** Kraftstoff für pflanzenölaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen. Entwurf zu Vornormen, Dt. Institut für Normung e.V., Juni 2005
- EL SAEIDY E., SCHOLZ V., HAHN J. (2003):** Energetic use of crop residues considering especially cotton stalks. In: Proceedings of the International Conference "New methods, means, and technologies for applications of agricultural products" Raudondvaris/Lithuania, 18./19.09.2003, S. 27-32
- EL SAEIDY E. (2004):** Technological Fundamentals of Briquetting Cotton Stalks as a Biofuel. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin
- FAKTENPAPIER (2005):** Bundesverband BioEnergie, www.bioenergie.de, 19.01.2005
- FAO (2005):** online <http://faostat.fao.org>
- FLORIN-AG (2005):** online www.florin-ag.ch/de
- FNR (2005):** online www.fnr.de
- FRITSCH et al. (2004):** Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht eines BMU geförderten Verbundprojektes, Darmstadt 263 S.
- FRITSCH U.R., HÜNECKE K., WIEGEMANN K. (2005):** Kriterien zur Bewertung des Pflanzenbaus zur Gewinnung von Biokraftstoffen in Entwicklungsländern unter ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Gutachten im Auftrag des BMZ, Freiburg 49 S.
- FRANKE G. (1967):** Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen, Bd. 2, Leipzig
- FRANKE G. (1994):** Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Bd. 3, Ulmer Stuttgart

- GHP-BIODIESEL (2005):** online www.ghp-biodiesel.de
- GIRIRAJ K., MENSINKAI SW., SINDAGI SS. (1974):** Components of genetic variation for yield and its attributes in 6 x 6 diallel crosses of castor (*Ricinus communis* L.). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 44, 3, S. 132-136
- GOERING C.E. et al. (1982):** Fuel Properties of Eleven Vegetable Oils. *TRANS of the ASAE* 25 6, S. 1472-1477
- GRAF T. (2005):** Mündliche Mitteilung, Thüringische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg, 06.01.2005
- GUNSTONE F.D., HARWOOD J.L., PADLEY F.B. (1986):** *The Lipid Handbook*. London: Chapman and Hall
- HARA-NISHIMURA, I. (1993):** Vacuolar processing enzyme [in *Ricinus communis*, rice, maize, soybeans, pumpkins and spinach] responsible for proprotein processing of various seed proteins. Report of the Soy Protein Research Committee (Japan), 14, S. 122-126
- HASSEL E. et al. (2004):** Rapsöl als Kraftstoff - Einsatz von naturbelassenem Rapsöl als Kraftstoff in der Land- und Forstwirtschaft. Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V., Berlin
- HEESS (2004):** online www.heess.de/produkte/prod_verz/prod_besch/prod_rizi.htm
- HEINRICH J. (2002):** Naturpower – aus Pflanzenöl auch für LKW, naturpower Zossen, September 2002
- HEIPRO (2005):** online www.heipro.de/umruestung.html
- HENKE J.M. (2004):** Bioethanol und globale Marktentwicklung für Biokraftstoffe, 2. Fachkongress für Biokraftstoffe "Kraftstoffe der Zukunft", Berlin, 29./30. Nov. 2004
- HOLZT (2004):** Schriftliche Mitteilung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow
- HAYES DG., CARLSON KD., KLEIMAN R. (1996):** The isolation of hydroxy acids from lesquerella oil lipolysate by a saponification/extraction technique. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73, 9, S. 1113-1119
- KAISER T. (2005):** Mündliche Mitteilung, Institut für Energie- und Umwelttechnik Porad & Kaiser, München, 06.01.2005
- KAMPMANN H.-J. (2005):** Mündliche Mitteilung, MWB Motorenwerke Bremerhafen AG, Niederlassung Nordhausen, 06.10.2005
- KREMER-PIGMENTE (2004):** online www.kremer-pigmente.de/rizinusoel.htm
- KHASHIMOV D. A., YULDASHEV P. KH. (1998):** Primary structure of the alanine subunit of ricin T from the seeds of the central asian castor oil plant. VI. Tryptic peptides of the cyanogen bromide fragments B-1, B-2, and B-3. *Chemistry of Natural Compounds*, 34, 6, S. 715-719
- KITANI O. (1999):** CIGR Handbook of Agricultural Engineering. ASAE St. Joseph
- KNAPP O.E. (1943):** Versuche zur Züchtung einer giffreien *Ricinus*-Sorte. *Der Züchter*, 15, S. 97-100
- KNIGHT P. (2004):** First electricity from castor oil. *Oils & Fats International*, Nov. 2004, S. 30
- KNOTHE G., DUNN R.O., BAGBY M.O. (2000):** The Use of Vegetable Oils and Their Derivates as Alternative Diesel Fuels. In: *Fuels and Chemicals from Biomass*, American Chemical Society
- KOUTROUBAS S. D., PAPA KOSTA D. K., DOITSINIS A. (2000):** Water requirements for castor oil crop (*Ricinus communis* L.) in a Mediterranean climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184, 1, S. 33-41
- KRAHL J. (2005):** Schriftliche Mitteilung. FAL Braunschweig-Völkenrode, 05./25.01.2005

- KRAHL J. (2002):** Rapsölmethylester in dieselmotorischer Verbrennung – Emissionen, Umwelteffekte, Optimierungspotentiale. Landbauforschung Völkenrode – FAL Agricultural Research, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 233, Braunschweig
- KRAHL J., MUNACK A., BAHADIR M. (1994):** Emissionen bei der Verwendung von Rapsöl, RME oder Dieselkraftstoff sowie vergleichende Abschätzung ihrer Umweltwirkung – eine Übersicht. Landbauforschung Völkenrode, 44. Jahrgang, Heft 2, Seite 182-196
- KRAHL J., VELLGUTH G., MUNACK A., STALDER K., BAHADIR M. (1996):** Exhaust Gas Emissions and Environmental Effects by Use of Rape Seed Oil Based Fuels in Agricultural Tractors. International Off-Highway & Powerplant Congress & Exposition Indianapolis, Indiana August 26-28
- KRAHL J., MUNACK A., SCHRÖDER O., STEIN H., HERBST L., KAUFMANN A., BÜNGER J. (2005):** Impact of Different Fossil and Biogenic Fuels on the Exhaust Gas and the Health Effects. 5th International Colloquium, January 12-13, 2005, Fuels 2005, S. 207-212
- KRÜGER (2005):** Mündliche Mitteilung. Prignitzer Chemie GmbH, 11.01.2005
- KÜCHENAPOTHEKE (2004):** www.g2bclinic.com/german/ayurveda/kruge.htm, 12.12.2004
- LABALETTE F.A., ESTRAGANAT A., MESSEAN A. (1996):** Development of castor bean production in France. In: J. Janick, Progress in new crops. ASHS press, AIR1-CT92-0069, Alexandria, p. 340-342
- LAKSHMINARAYANA G. J. AMER (1984):** Oil Chem. Soc. (61) S. 1871
- LAURETI D. (2002):** Nuove cultivar di ricino (*Ricinus communis* L.) ad internodo normale e corto. Agroindustria, vol. 1, num. 3, Bologna
- LAURETI D. (2002):** Fabbisogni idrici del ricino (*Ricinus communis* L.) mediante l'impiego di coefficienti colturali e di deficit idrico. Agroindustria, vol. 1, num. 3, Bologna
- LEITFADEN (2004):** Die Nutzung von Pflanzenölkraftstoff in Dieselmotoren. Leitfaden – Landberatung Lüneburg, 10 S.
- LOSSNER G. (1972):** Lagerung und Verarbeitung tropischer und subtropischer Pflanzenprodukte. Lehrbriefe des Instituts für Pflanzenproduktion und Veterinärmedizin, Universität Leipzig
- LOTTI G., PIOLO L., NAVARI-IZZO F. (1978):** Formation of fatty acids in *Ricinus communis* seed oil during ripening. Rivista Italiana delle Sostanze Grasse, 55, 2, S. 49-54
- MACHADO C. C., GARCIA A. R., SILVA E., SOUZA A. P. DE (1998):** Technical-economic analysis of the use of castor (*Ricinus communis*, L.) and mineral oils as lubricants of chainsaw cutting sets. (Análise técnico-econômica do uso dos óleos de mamona (*Ricinus communis*, L.) e mineral como lubrificantes do conjunto de corte de motosserras). Revista Ardore, 22, 1, S. 123-134
- MARIOTTO P. R., BARROS B. C., SUGIMORI M. H., MENTEN J. O. M., MORAES S. A., SAVY FILHO A. (1987):** Effect of castor (*Ricinus communis* L.) seed dressing evaluated by different seed pathology methods. (Efeito do tratamento químico de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) avaliado por diferentes métodos de patologia de sementes). Arquivos do Instituto Biológico, Sao Paulo, 54, 1-4, S. 37-44
- MAURER K. (2004):** Persönliche Mitteilung. Stuttgart-Hohenheim, 20.12.2004
- MAURER K. (2000):** Gehört dem Pflanzenölkraftstoff die Zukunft?. 8. Fachseminar „Biokraftstoffe in ländlichen Regionen und in der Landwirtschaft, Hohenbucko 2.3.2000, Tagungsband, S. 9-34
- MEYER-PITROFF R., DOBIASCH A., LACHENMAIER J. (2002):** Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern. Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Teil 2, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München

- MICHIYAMA H., YAMAMOTO R. (1993):** Effect of pinching off of lateral buds at various growth stages on yield components of primary inflorescence in castor-oil plants (*Ricinus communis* L.). Japanese Journal of Tropical Agriculture, 37, 1, S. 1-10
- MICHIYAMA H., YAMAMOTO R., MICHIYAMA H., YAMAMOTO R. (1994):** Effect of leaf cutting at various growth stages on yield components of primary inflorescence in castor-oil plants (*Ricinus communis* L.). Japanese Journal of Tropical Agriculture, 38, 1, S. 33-40
- MOURSİ M. A., KISHK E. T. (1977):** Effect of salinity on the yield and oil properties of *Ricinus communis*. Egyptian Journal of Agronomy, 2, 1, S. 21-25
- MUNACK A., KRAHL J. (1998):** Biodiesel Optimierungspotentiale und Umwelteffekte Informationen, Erfahrungsaustausch, Perspektiven. Landbauforschung Völkenrode, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 190, Fachtagung 12. – 13. Juni 1998 Forum der FAL, Braunschweig
- MUNACK A., KRAHL J. (2002):** Biodiesel – Potenziale, Umweltwirkung, Praxiserfahrungen. Landbauforschung Völkenrode – FAL Agricultural Research, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 239, Beiträge zu der Fachtagung am 16./17. September 2002 in Braunschweig
- MURALIDHARUDU Y., NAGARAJ G. (1997):** Oil in some Indian castor (*Ricinus communis*) genotypes. Journal of the Oil Technologists' Association of India, 29, 3, S. 59-60
- MWB (2005):** Firmeninformation. Motorenwerke Bremerhaven AG
- NEUMANN H. (2004):** Noch nicht alle Probleme gelöst. Energie pflanzen II/2004, S. 20-22
- NASIRULLAH, NAGARAJA KV. (1987):** Detection of the presence of toxic oils in edible vegetable oils. Oleagineux, 42, 1, S. 35-38
- NIPE-ENERGIA (2005):** Presidente Lula sanciona lei do biodiesel. Assessoria de Comunicacao Social MME, 14.010.2005
- TURNER C., WHITEHAND LC., NGUYEN T., MCKEON T. (2004):** Optimization of a supercritical fluid extraction/reaction methodology for the analysis of castor oil using experimental design. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52, 1, S. 26-32
- OIL WORLD (2005):** online www.oilworld.biz
- PASCUAL-VILLALOBOS M. J. (1995):** Castor bean (*Ricinus communis* L.), an oil crop for non-culinary use. Agronomic and varietal studies. (El ricino (*Ricinus communis* L.), un cultivo oleaginoso de utilizacion no alimentaria. Estudios agronomicos y varietales). Investigacion Agraria, Produccion y Proteccion Vegetales, 10, 3, S. 385-399
- PATHAK H. C., DANGARIA C. J., PARMAR K. S. (1986):** Heterosis and genetic architecture of oil content in castor (*Ricinus communis* L.). Madras Agricultural Journal, 73, 6, S. 328-333
- PAZIR GUL, MUHAMMAD FAROOQ (1991):** Physico-chemical composition of fixed oil from *Ricinus communis* L. Pakistan Journal of Forestry, 41, 4, S. 180-183
- PEIPP L. (1972):** Maschinen und Geräte für die Ernte von ausgewählten Druschfrüchten tropischer und subtropischer Länder. Lehrbriefe des Instituts für Pflanzenproduktion und Veterinärmedizin, Universität Leipzig
- PEUKE A. D., GLAAB J., KAISER W. M., JESCHKE W. D. (1996):** The uptake and flow of C, N and ions between roots and shoots in *Ricinus communis* L. IV. Flow and metabolism of inorganic nitrogen and malate depending on nitrogen nutrition and salt treatment. Journal of Experimental Botany, 47, 296, S. 377-385
- RAKEL T. (2004):** Einsatzverfahren zu Biodiesel und Pflanzenöl als Motorkraftstoff in Traktoren und Forstmaschinen, Staatl. Forstamt Doberlug-Kirchhain

- REHM S., ESPIG G. (1984):** Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen, 2. Aufl., Ulmer Stuttgart
- REINHARD G. A. (1993):** Energie- und CO₂-Bilanzierung Nachwachsender Rohstoffe. Theoretische Grundlagen und Fallstudie Raps, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden
- REINHARDT G.A. (2005):** Persönliche Mitteilung. IFEU Heidelberg, 09.02.2005
- REMMELE E. (2002):** Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff – Untersuchungen zu Kenngrößen, Prüfverfahren und Grenzwerten. Technische Universität München Lehrstuhl für Landtechnik, Dissertation, Freising
- REMMELE E., STOTZ K. (2003):** Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich. Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfragen in der Praxis. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing
- REMMELE E., THUNEKE K., ATTENBERGER A., STOTZ K., ROCKTÄSCHEL A., FLEISCHMANN R., RABA F. (2004):** Pflanzenöl als Speiseöl, Treib-, Schmier- und Verfahrensstoff. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing
- RK-QUALITÄTSSTANDARD (2000):** Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff. LTV-Arbeitskreis, TFZ Straubing
- RODRIGUES R. F. DE O., OLIVEIRA F. DE, FONSECA A. M. (2002):** The leaves of Palma Christi-Ricinus communis L. Euphorbiaceae Jussieu - a review. (As folhas de palma christi - Ricinus communis L. Euphorbiaceae Jussieu. Revisao de conhecimentos.) LECTA, 20, 2, S. 183-194
- ROTH L., KORMANN K. (2000):** Ölpflanzen – Pflanzenöle. Landsberg/Lech: ecomed Verlagsgesellschaft AG&Co. KG, 226 Seiten
- SCHLIEPHAKE (1986):** Nachwachsende Rohstoffe. Teil II, Verl. Kordt Bochum
- SCHOLZ V. (1997):** Methodik zur Ermittlung des Energieaufwandes pflanzenbaulicher Produkte am Beispiel von Biofestbrennstoffen. Agrartechnische Forschung 3 1, S. 11-18
- SCHOLZ V., BERG W., KAULFUSS P. (1998):** Energy Balance of Solid Biofuels. Journal of Agricultural Engineering Research 71, S. 263-272
- SCHOLZ V., KRÜGER K., HÖHN A. (2001):** Vergleichende Untersuchungen zum umweltverträglichen und energieeffizienten Anbau von Energiepflanzen (Comparative Studies of Environmentally Friendly and Energetically efficient Cultivation of Energy Plants). Arch. Acker-Pfl. Boden, 47 3-4, S. 333-361
- SCHOLZ V., ELLERBROCK R. (2002):** The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. Biomass and Bioenergy 23 p. 81-92
- SCHOLZ V., HELLEBRAND H.-J., HÖHN A. (2004):** Energiepflanzen im Vergleich – Ertrag und Umweltverträglichkeit (Teil I). energie-pflanzen IV/2004, S. 13-16
- SCHOLZ V., GRUNDMANN P. (2004):** Energiepflanzen im Vergleich – Energiegewinn und Produktionskosten (Teil II). energie-pflanzen V/2004, S. 13-16
- SCHRAA M. (2005):** Persönliche Mitteilung. ZMP Bonn 6.2.05
- SCHRÖER R. (2005):** Schriftliche Mitteilung. GTZ Belo Horizonte, Brasilien, 22.02.2005
- SCHUSTER W.H. (1992):** Ölpflanzen in Europa. DLG-Verlag Frankfurt/M.
- SEEG (2005):** online www.seeg.at
- SHIVAS R. G., OZANNE T. D., TOMMERUP I. C., WALKER J. (2000):** First record in Australia of Melampsora ricini on castor oil plant. Australasian Plant Pathology, 29, 2, S. 150

- SIEVERDING U. (2004):** Kraftstoffe der Zukunft – Chancen und Hindernisse aus Verbrauchersicht, 2. Fachkongress für Biokraftstoffe “Kraftstoffe der Zukunft“, Berlin, 29./30. Nov. 2004
- SMOCZKIEWICZOWA A., KOKOCINSKA H., BIELAWNY J. (1974):** Application of the alkaline isomerization method for study of the effect of UV irradiation on fats. Zeszyty Naukowe Akademia Ekonomiczna w Poznaniu
- SPEIDEL V. (2004):** Mündliche Mitteilung, 19.11.2004
- STOTZ K., REMMELE E. (2004):** Dezentrale Ölsaatenverarbeitung in Deutschland – Ergebnisse einer Befragung. TFZ Straubing
- STRÄHLE PFLANZENÖLPRESSEN (2005):** Strähle Pflanzenölpresen – Energie fürs Leben. Firmenprospekt
- STRÄHLE K. (2001):** Kosten der Rapsölgewinnung. K. Strähle GmbH & Co. KG, Dettingen, 13.06.2001
- STRÄHLE K. (2005):** Mündliche Mitteilung. Karl Strähle GmbH & Co. KG, Dettingen, 11.01.2005
- SYASSEN O. (1992):** Chancen und Problematik nachwachsender Kraftstoffe. In: Sonderdruck aus MTZ 53 (1992) Hefte 11 und 12 S.13
- TARITA Y. L., MANAS A. E. (1989):** Development of oil finish from castor plant (*Ricinus communis* L.) seeds. FPRDI Journal, 18, 1-4, 15-29, Philippines
- TIERRAMERICA (2004):** online www.tierramerica.net/2003/0526/ianalisis.shtml
- TILLARD P., PASSAMA L., GOJON A. (1998):** Are phloem amino acids involved in the shoot to root control of NO₃- uptake in *Ricinus communis* plants? Journal of Experimental Botany, 49, 325, S. 1371-1379
- TROPENWALDNETZWERK-BRASILIEN (2004):** online www.tropenwaldnetzwerk-brasilien.de/aktuell/news/news.brasil.20040824
- UFOP (2005):** online www.ufop.de
- VCI (1997):** Verband der chemischen Industrie, Umweltbericht
- VETELKIN Gv., ANASTADIADI IP., DAVIDENKO EK., PUTILIN VP. (1980):** Effect of heating castor oil seeds on composition of the oil's fatty acids during drying. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Pishchevaya Tekhnologiya, 5, S. 82-84
- VELLGUTH G. (1982):** Eignung von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten als Kraftstoff für Dieselmotoren. Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode, Grndl. Landtechnik Bd. 32 Nr. 5, S. 177-186
- VETTER A. (2004):** Anbauverfahren und ökonomische Aspekte der Energiepflanzenerzeugung für Biokraftstoffe. 2. Fachkongress für Biokraftstoffe “Kraftstoffe der Zukunft“, Berlin, 29./30. Nov. 2004
- WALTHER D. (2004):** Biokraftstoffe aus der Sicht der Deutschen BP AG. 2. Fachkongress für Biokraftstoffe “Kraftstoffe der Zukunft“, Berlin, 29./30. Nov. 2004
- WICHMANN V. et al. (2004):** Nutzung von Pflanzenöl in Verbrennungsmotoren. Kongress „Kraftstoffe der Zukunft“, Berlin, 29./30. Nov. 2004
- WIDMANN B. A., THUNEKE K., KERN C. (2002):** Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern. Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Teil 1, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
- WIDMANN B. A., THUNEKE K., LINK H., REMMELE E. (2002):** Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern. Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Abschlussbericht, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München

-
- WIDMANN B. A., THUNEKE K., REMMELE E. (2002):** Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern. Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Leitfaden, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, April 2002, München
- WIKIPEDIA (2004):** online <http://de.wikipedia.org/wiki/wunderbaum>
- WILHARM (2005):** Persönliche Mitteilung. ASG Augsburg, 24.02.2005
- WOLF J. (1994):** Versuchsbericht über Prüfstandsversuche mit einem pflanzenöлтаuglichen Dieselmotor im Rahmen des Projektes "EUROBIODIESEL", Ingenieurbüro BAWO, Schlieben
- WOLF J. et al. (2001):** Regionale Wertschöpfung mit Pflanzenöl als Kraft- und Rohstoff, Fachtagung Nachwachsende Rohstoffe, Chemnitz, Oktober 2001
- WOLF J. (2004):** Schriftliche Mitteilung. Schlieben, 15.12.2004
- WOLF J. (2005):** Persönliche Mitteilung. Schlieben, 20.02.2005

Anlagen

Ertrag und Ölgehalt von Ölsaaten

Quelle: CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 5, 1999

Common Name	Scientific Name	Indicative Yield t/ha	Oil Content %
Almond	<i>Prunus dulcis</i>	3.0	25-50
Bean, African locust	<i>Parkia filicoidea</i>	5.0	16-18
Bean, broad	<i>Vicia faba</i>	6.6	1-2
Bean, lablab	<i>Dolichos lablab</i>	1.4	
Bigseed falseflax	<i>Camelina sativa</i>	1.0	40
Canicha	<i>Sesbania bispinosa</i>	1.0	
Cashew	<i>Anacardium occidentale</i>	1.0	38-46
Castor bean	<i>Ricinus communis</i>	5.0	35-55
Chickpea	<i>Cicer arietinum</i>	2.0	5-6
Cocoa	<i>Theobroma cacao</i>	3.3	50
Coconut	<i>Cocos nucifera</i>	6000 ^a	0.63 ^b
Coloynth	<i>Citrullus colocynthis</i>	6.7	19-20
Cotton	<i>Gossypium spp.</i>	1.5	20
Crambe	<i>Crambe abyssinica</i>	5.0	36
Croton, purging	<i>Croton tiglium</i>	0.9	50-60
Crownvetch	<i>Coronilla varia</i>	0.5	
Fenugreek	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	3.0	6-7
Flax	<i>Linum usitatissimum</i>	1.3	38
Gourd, buffalo	<i>Cucurbita foetidissima</i>	3.0	24-30
Groundnut, Bambarra	<i>Voandzeia subterranea</i>	4.2	
Guar	<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>	2.0	
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	8.0	50
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	2.2	48-52
Lablab	<i>Dolichos lablab</i>	1.4	
Lesquerella	<i>Lesquerella spp.</i>	1.3	30
Lupine, European blue	<i>Lupinus angustifolius</i>	1.0	5-6
Lupine, European yellow	<i>Lupinus luteus</i>	1.0	5-6
Lupine, white	<i>Lupinus albus</i>	1.0	6-9
Marijuana	<i>Cannabis sativa</i>	1.5	30-35, 23-26 ^c
Meadowfoam, Baker's	<i>Limnanthes bakeri</i>	0.4	24-30
Meadowfoam, Douglas's	<i>Limnanthes douglasii</i>	1.9	24-30
Mu-oil tree	<i>Aleurites montana</i>	5.5	7-8
Mustard, black	<i>Brassica nigra</i>	1.1	27-35
Mustard, white	<i>Sinapis alba</i>	8.0	30-35
Niger seed	<i>Guizotia abyssinica</i>	0.6	31-41, 30-35 ^c
Nut, macadamia	<i>Macadamia spp.</i>	1.0 ^d	65-75
Oilvine, Zanzibar	<i>Telfairia pedata</i>	2.0	35-38
Palm, African oil	<i>Elaeis guineensis</i>		2.2 ^c
Pea, cow	<i>Vigna unguiculata</i>	2.5	
Peanut	<i>Arachis hypogaea</i>	5.0	36-50
Perilla	<i>Perilla frutescens</i>	1.5	49-51, 26-33 ^c
Poppy, opium	<i>Papaver somniferum</i>	0.9	40-50
Rape	<i>Brassica napus</i>	3.0	33-40
Safflower	<i>Carthamus tinctorius</i>	4.5	25-37, 17-25 ^c
Sesame	<i>Sesamun indicum</i>	0.5	50
Soybean	<i>Glycine max</i>	3.1	17-26
Stylo, townsville	<i>Stylosanthes humilis</i>	1.2	
Sunflower	<i>Helianthus annuus</i>	3.7	35-40
Tallow tree	<i>Sapium sebiferum</i>	14.0	55
Ververbean	<i>Mucuna deeringiana</i>	2.0	
Walnut, black	<i>Juglans nigra</i>	7.5	60
Walnut, Persian	<i>Juglans regia</i>	7.5	60

^a Nuts. ^b Oil (t/ha). ^c Mechanical extraction. ^d Kernels.

Technische Eigenschaften von Pflanzenölen

Quelle: CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 5, 1999

Vegetable oil	Visc. ^a	Cetane ^b	Hg,	Cloud	Pour	Flash	Density	Water	Carbon	Ash	Sulphur	Copper	Induction
	mm ² /s	No.	kJ/kg	point °C	point °C	point °C	kg/L	& sed. %v	residue %w	%w	%w	Corros.	period h
Castor	297	?	37274	none	-31.7	260	0.9537	trace	0.22	<0.01	0.01	1a	95.0
Corn	34.9	37.6	39500	-1.1	-40.0	277	0.9095	trace	0.24	0.01	0.01	1a	9.3
Cottonseed	33.5	41.8	39468	1.7	-15.0	234	0.9148	0.04	0.24	0.01	0.01	1a	7.3
Crambe	53.6	44.6	40482	10.0	-12.2	274	0.9044	0.2	0.23	0.05	0.01	1a	9.0
Linseed	27.2	34.6	39307	1.7	-15.0	241	0.9236	trace	0.22	<0.01	0.01	1a	2.9
Peanut	39.6	41.8	39782	12.8	-6.7	271	0.9026	trace	0.24	0.005	0.01	1a	6.4
Rapeseed	37.0	37.6	39709	-3.9	-31.7	246	0.9115	trace	0.30	0.054	0.01	1a	10.0
Safflower	31.3	41.3	39519	18.3	-6.7	260	0.9144	trace	0.25	0.006	0.01	1a	3.1
H.O. Safflower	41.2	49.1	39516	-12.2	-20.6	293	0.9021	trace	0.24	<0.001	0.02	1a	9.8
Sesame	35.5	40.2	39349	-3.9	-9.4	260	0.9133	trace	0.25	<0.01	0.01	1a	8.7
Soybean	32.6	37.9	39623	-3.9	-12.2	254	0.9138	trace	0.27	<0.01	0.01	1a	7.4
Sunflower	33.9	37.1	39575	7.2	-15.0	274	0.9161	trace	0.23	<0.01	0.01	1a	5.4
Diesel ^c	2.7	47	45343	-15.0	-33.0	52	0.8400	<0.05	<0.35	<0.01	<0.01	3	<150

^a measured at 38° C

^b measured using a modified form of ASTM D613 in which ignition delays were observed visually

^c Typical No.2

Eigenschaften des Rizinusöls nach DIN 55939 (1992)

Eigenschaft		Anforderungen	Prüfung nach
Dichte	bei 20 °C g/ml bei 23 °C ²⁾ g/ml	0,955 bis 0,968 0,953 bis 0,966	DIN 51 757/01.84, Abschnitt 6
Brechzahl n_D	bei 20 °C bei 23 °C ³⁾	1,4783 bis 1,4795 1,4773 bis 1,4785	DIN 51 423 Teil 2
Farbzahl (Verfahren nach Vereinbarung)	Iodfarbzahl	max. 2	DIN 6162
	Gardner Farbzahl	max. 2	DIN ISO 4630
	Photometer-Farbz.	nach Vereinb.	DIN 53 995
Säurezahl (SZ)	mgKOH/g	max. 2	DIN 53 402
Verseifungszahl (VZ)	mgKOH/g	175 bis 187	DIN 53 401
Hydroxylzahl	mgKOH/g	min. 160	DIN 53 250 ⁴⁾
Viskosität	bei 20 °C mPa·s bei 23 °C mPa·s	950 bis 1100 750 bei 900	DIN 53 015
Gehalt an unverseifbaren Bestandteilen (UV)	%	max. 1	DIN 55 934/11.92, Abschnitt 14
Iodzahl nach Wijs	g Iod/100 g	82 bis 89	DIN 53 241 Teil 1
Löslichkeit		mit Ethanol mit einer Volumenkonzentration $\sigma(C_2H_5OH) = 95\%$ in jedem Verhältnis mischbar	-
Zusammensetzung der Fettsäuren		nach Vereinbarung	DIN 53 782, DIN 55 957

Eigenschaften des Rizinusöls nach dem ICOA-Standard (2003)

Property	Pale Pressed Oil	Oil Number 1 (FSG)	AOCS Method	ASTM Method
Hydroxyl Value	160 - 168	160 - 168	Cd 13 - 60	D 1957
Color, Lovibond (5 ¼'), max.	10 Y 1.0 - R	20 Y - 2.0 R	Cc 13 e - 92	No Method
Viscosity	6.3 - 8.9 Stokes	6.3 - 8.9 Stokes	Tq 1a - 64	D 1545
Free Fatty Acid, max.	0.75 %	1.00 %	Ca 5a - 40	D 1639
Moisture & Volatile, max	0.25 %	0.25 %	Ca 2c - 25	No Method
Insoluble Impurities, max.	0.01 %	0.02 %	Ca 3a - 46	No Method

ICOA...International Castor Oil Association

Eigenschaften handelsüblicher Rizinusöle und deren Derivate

	Farb- zahl ¹⁾ max.	Säure- zahl -	Wasser- gehalt % max.	Hydro- xylzahl -	Jod- Zahl -	Dichte bei 20 °C g/cm ³	Viskosität bei 20 °C dPa s	Verseifgs.- zahl mg KOH/g
RIZINUSÖL nach Alberdingk Boley GmbH								
FSG/No. 1	4,0	2,0	0,3	160	86	0,960	10,0	-
DIN-Qualität	2,0	1,5	0,3	160	86	0,960	10,0	-
PU-Qualität	4,0	2,0	0,05	160	86	0,960	10,0	-
Techn. Rizinusöl low FFA	4,5	1,0	0,3	160	86	0,960	10,0	-
Pharma-Qualität Ph Euro ²⁾	2,0	2,0	0,3	150	86	0,960	10,0	-
Pharma-Qualität DAB ²⁾	1,0	1,0	0,3	160	86	0,960	10,0	-
RIZINUSÖL-DERIVATE (Auswahl) nach Alberdingk Boley GmbH								
Gebblasenes Rizinusöl								
17 Poise	5,0	6,0	-	155	80	0,970	17,0	-
30 Poise	8,0	9,0	-	155	75	0,990	30,0	-
45 Poise	9,0	11,0	-	155	75	0,990	45,0	-
60-70 Poise	12,0	15,0	-	145	70	1,000	70,0	-
90 Poise	12,0	15,0	-	145	70	1,000	90,0	-
Dehydratisiertes Rizinusöl (DCO)	5,0	4,0	-	25	145	0,935	3,0	-
Dehydratisiertes Rizinusöl - spezial	4,0	4,0	-	25	145	0,935	3,0	-
Teildehydratisiertes Rizinusöl	6,0	5,0	-	120	-	-	8,0	-
DCO Standöl								
8 Poise	5,0	7,5	-	25	-	0,944	8,0	-
45 Poise	5,0	7,5	-	15	-	0,950	45,0	-
RIZINUSÖL und RIZINUSÖL-DERIVATE nach Lechner & Crebert								
Rzinusöl Hell ³⁾	< 4	2,0	-	> 160	82- 89	-	9,5-11	175-187
Rizinusöl nach DAB 10 ^{2) 4)}	-	< 1,0	-	> 160	82- 90	0,952- 0,965	9,5-11	176-187
Rizinusöl Gebblasen ⁵⁾	9,0	11-25	-	150- 160	70- 80	0,99	15-300	190-205
Rizinenöl ⁶⁾	4,0	< 4,0	-	< 25	> 145	0,929- 0,940	< 3,0	186-195
Rizinenstandöl ⁷⁾	5,0	< 7,5	-	< 15		0,948- 0,951	45 +/- 10%	187-195
1) nach Gardner 2) Peroxidzahl < 5,0 3) Brechungszahl 1,4783 bis 1,4795; unverseifbare Anteile < 1 %; flücht. Anteile < 0,3 %; Löslichkeit in 96 %igen Ethanol 4) Brechungsindex 1,477 bis 1,481; Opt. Trübung +3,0 bis 6,0; unverseifbare Anteil > 1 %; Die spezifische Adsorption in Ethanol im Adsorptionsmaximum zwischen 268 und 270 nm beträgt höchstens 1,5 5) Brechungszahl 1,480 bis 1,483; Lieferbar von 15 bis 300 dPa s ±10 % 6) Brechungszahl bei 20°C 1,48020 bis 1,4860 und bei 23°C 1,4809 bis 1,5849; Unverseifbare Anteile < 1 % 7) Brechungszahl bei 20°C 1,4878 bis 1,4890								

Internationaler Ölsaatenmarkt

Angaben in Mio t

Quellen: USDA Washington, Oil World Hamburg, A.C. Toepfer International

	1990/92	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03 ¹⁾
Produktion								
Ölsaaten, ges.	222,5	264,4	286,5	294,7	303,4	313,4	323,7	326,4
Sojabohnen	109,6	132,2	158,1	159,8	159,9	175,1	184,3	194,0
dar. USA	55,4	64,8	73,2	74,6	72,2	75,1	78,7	74,3
Brasilien	19,2	26,8	31,0	31,3	34,2	39,0	43,5	51,0
Argentinien	11,1	11,2	19,5	20,0	21,2	27,8	30,0	35,0
China	10,3	13,2	14,7	15,2	14,3	15,4	15,4	16,4
Indien	2,6	4,1	5,4	6,0	5,2	5,3	5,4	4,4
Sonnenblumen	22,0	23,8	23,2	26,6	27,2	23,3	21,3	23,0
dar. Russland	2,8	2,8	2,8	3,0	4,1	3,9	2,7	3,3
Ukraine	2,0	2,1	2,1	2,4	2,7	3,5	2,3	3,0
Argentinien	3,7	5,4	5,6	7,0	5,8	3,1	3,6	3,8
EU ²⁾	4,1	3,9	4,1	3,6	3,0	3,4	3,2	3,0
Rapssaat	26,2	31,5	33,2	35,9	42,4	37,6	36,4	32,0
dar. China	7,4	9,2	9,6	8,2	9,7	10,6	11,0	10,1
EU ²⁾	6,7	7,3	8,8	9,5	11,3	9,1	8,9	9,4
Kanada	3,7	5,1	6,4	7,6	8,8	7,1	5,0	3,6
Indien	5,4	6,9	5,4	5,0	5,1	3,8	4,7	3,8
Export								
Ölsaaten, ges.	36,2	49,6	54,0	55,1	64,9	71,7	68,8	73,3
Sojabohnen	27,8	37,1	40,5	38,9	46,1	55,5	55,2	62,7
dar. USA	18,3	24,0	23,8	21,9	26,5	27,1	28,9	26,1
Brasilien	3,5	8,4	8,8	8,9	11,8	15,5	15,0	20,8
Argentinien	3,4	0,8	3,2	3,4	4,1	7,4	6,0	9,7
Import								
Ölsaaten, ges.	36,2	49,2	53,2	57,6	65,8	72,1	69,3	72,5
Sojabohnen	27,8	36,4	39,8	40,5	46,1	55,2	56,4	62,2
dar. EU ²⁾	13,4	15,4	16,6	16,0	14,9	19,3	20,6	20,6
Japan	4,7	5,0	4,9	4,8	4,9	4,8	5,0	5,1
China	0,1	2,3	2,9	3,9	10,1	13,3	10,4	16,0

1) Schätzung

2) Ab 1994/95 EU-15

Internationaler Rizinusölmarkt Angaben in 1000 t

Quelle: ISTA Mielke GmbH, Oil World (<http://www.oilworld.biz>)

	Okt. 00 - Sept. 01	Okt. 01 - Sept. 02	Okt. 02 - Sept. 03	Okt. 03 - Sept. 04	Okt. 04 - Sept. 05 ¹⁾
Produktion					
Deutschland	8	5	2	2	1
Brasilien	48	43	41	54	68
Indien	322	263	241	271	288
China	117	114	113	108	106
Sonstige	27	26	26	29	30
Gesamt	521	451	422	464	493
Export					
Brasilien	14	6	4	1	5
Indien	228	174	164	190	195
Sonstige	27	28	29	34	34
Gesamt	270	208	197	225	233
Import					
EU-25	148	119	108	115	105
Deutschland ²⁾	30	35	35	37 ¹⁾	-
Brasilien	0	1	0	2	2
China	5	8	10	17	20
USA	48	32	25	40	40
Japan	22	21	19	23	25
Thailand	14	13	16	15	16
Sonstige	23	17	21	20	21
Gesamt	261	212	198	232	228
Verbrauch					
EU-25	135	128	129	118	102
Deutschland ²⁾	30	35	35	37 ¹⁾	-
Brasilien	31	35	39	54	64
Indien	90	90	85	86	91
China	123	123	125	126	126
USA	36	35	29	34	43
Japan	21	17	20	22	27
Thailand	18	16	19	19	21
Sonstige	26	20	22	17	19
Gesamt	479	465	467	475	493

1) geschätzt

2) gilt jeweils für Jan. bis Dez. des Zweitjahres

	2001	2002	2003
Exportländer	Import in Deutschland		
EU- 25	1,2	2,1	1,8
Brasilien	0,2	0,3	0,3
Indien	28,4	32,2	33,0
Gesamt	30,0	34,7	35,4

Hersteller und Planer von Pflanzenölgewinnungsanlagen

Quelle: Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe Straubing

Stand: August 2004

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Ölpresse	Filter	Armaturen	Schläuche	Planung
Anton Fries Maschinenbau GmbH Herr A. Fries	Deutzring 6 b D-86405 Meitingen-Herbertshofen Phone: ++49/(0)8271/41137 Telefax: ++49/(0)8271/41241	✓				
Amafilter Deutschland GmbH Büro Baden-Württemberg Herr A. Wagner	Kirchgasse 2 D-89150 Laichingen Phone: ++49/(0)7333/7811 Telefax: ++49/(0)7333/7894 http://www.amafilter.com		✓			
BONI GmbH Herr R. Boni	Brudertalstraße 5a D-77933 Lahr/Schwarzwald Phone: ++49/(0)7821/9742-0 Telefax: ++49/(0)7821/9742-30 http://www.boni-online.de/				✓	
Bracco s.r.l.	Via Portico, 13 I-24060 Bagnatica – BG, Italy Phone: ++39/035/676017 Telefax: ++39/035/676370 http://www.coter.it	✓	✓			
CIMBRIA SKET Herr Dr. H.-J. Rasehorn	Schilfbreite 2 D-39120 Magdeburg Phone: ++49/(0)391/682953 Telefax: ++49/(0)391/684233 http://www.sket.cimbria.com	✓				✓
DF² Dialler Filter & Filterlösungen Herrn Stephan Dialler	Rothenpointstraße 12 D-83135 Schechen Phone: ++49/(0)8031/2351/56 Fax: ++49/(0)8031/2351-65		✓			
Egon Keller GmbH & Co. Herr U. Keller	Postfach 14 03 50 D-42824 Remscheid-Hasten Phone: ++49/(0)2191/84100 Telefax: ++49/(0)2191/8628 http://www.keller-kek.de	✓	✓			
Erhard GmbH ERMA-Schneckenpressen Herr Erhard	Burgstall 2 D-86510 Ried Phone: ++49/(0)8208/248 Telefax: ++49/(0)8208/1417	✓				

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Ölpresse	Filter	Armaturen	Schläuche	Planung	
Farmet a.s. Herr J. Potoček	Jiřinková 276 55203 Česká Skalice Tschechische Republik Phone: ++420 491 450 116 Telefax: ++420 491 450 129 http://www.farmet.cz	✓	✓			✓	
Goudsmit Magnetic Systems B.V. Büro Deutschland Frau M. Ray	Vogelsängerstrasse 50 D-58300 Wetter Phone: ++49/(0)2335/681906 Telefax: ++49/(0)2335/681908 http://www.goudsmit-magnetics.nl	Magnetabscheider					
Hayward Industrial Products GmbH Herr Klaus Altenbrand	Auf der Heide 2 D-53947 Nettersheim Phone: ++49/(0)721/475294 Telefax: ++49/(0)721/474972 http://www.haywardindustrial.com		✓				
Heizomat GmbH Herr Robert Bloos	Maicha 21 D-91710 Gunzenhausen / Maicha Phone: ++49/(0)9836/9797-0 Telefax: ++49/(0)9836/9797-97 http://www.heizomat.de	✓					
IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG Herr D. Skuras	Postfach 20 08 53 D-41208 Mönchengladbach Phone: ++49/(0)2166/8682-0 Telefax: ++49/(0)2166/8682-44 http://www.ibg-monforts.de	✓					
Karl Bockmeyer Kellereitechnik GmbH	Zementwerk 3 D-72622 Nürtingen Phone: ++49/(0)7022/93343-0 Telefax: ++49/(0)800/3116699 http://www.bockmeyer.de/	allerlei Nützliches					
Karl Strähle GmbH & Co. KG Frau C. Strähle	Robert-Bosch-Strasse 11 D-73265 Dettingen-Teck Phone: ++49/(0)7021/95097-0 Telefax: ++49/(0)7021/95097-33 http://www.straehle-maschinenbau.de	✓				✓	
KernKraft Moosbauer&Rieglsperger GbR Herr Gerhard Rieglsperger	Willenbach 23a D-84367 Reut/Ndb. Phone: ++49/(0)8574/535 Telefax: ++49/(0)8574/534 http://www.oel-presse.de/	✓	✓				
Kieselmann GmbH	Paul-Kieselmann-Strasse 4-6 D-75438 Knittlingen Phone: ++49/(0)7043/371-0 Telefax: ++49/(0)7043/371-125 http://www.kieselmann.de/			✓			
LFC Lochem b.v.	P.O. Box 35 7240 AA Lochem The Netherlands Phone: ++31/573/297777 Telefax: ++31/573/297771 http://www.lfcbv.com/		✓				

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Ölpresse	Filter	Armaturen	Schläuche	Planung
Michael Mailler Rapspressen und Technikhandel Herrn M. Mailler	Ortsstraße 8 D-85232 Kreuzholzhausen Phone: ++49/(0)8138/669110 Telefax: ++49/(0)8138/669110	✓	✓			
Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG Herr M. Boss	Industriestrasse 14 D-41460 Neuss Phone: ++49/(0)2131/9761-0 Telefax: ++49/(0)2131/9761-12 http://www.reinartzpressen.com	✓				
ÖHMI Engineering GmbH Herr Dr. G. Börner	Berliner Chaussee 66 D-39114 Magdeburg Phone: ++49/(0)391/8507-151 Telefax: ++49/(0)391/8507-150 http://www.oehmi-engineering.de/					✓
Pall SeitzSchenk Filtersystems Herr Dr. U. Fischer	Bettringer Strasse 42 D-73550 Waldstetten Phone: ++49/(0)7171/401-0 Telefax: ++49/(0)7171/401-107 http://www.schenk-filters.de		✓			
SGS-Ingenieure Herr L. Sergis-Christian	Oranienstraße 9 D-52066 Aachen Phone: ++49/(0)241/44598-15 Telefax: ++49/(0)241/44598-19 http://www.sgs-ingenieure.de					✓
Skeppsta Maskin AB Mr. B. Jonsson	Täby Skeppsta S-705 94 Örebrö Sweden Phone: ++46/(0)19228005 Telefax: ++46/(0)19228005 http://www.oilpress.com/	✓				
Zimmer GmbH Edelstahl- und Anlagentechnik	Thomas-Mann-Strasse 61 D-90471 Nürnberg Phone: ++49/(0)911/813 77 07 Telefax: ++49/(0)911/813 77 00 http://www.zimmer-nbg.de/			✓		

Kein Anspruch auf Vollständigkeit

Daten und Preise ausgewählter Pflanzenölpresen

Hersteller	Typ	Charakterisierung	Durchsatzleistung Saat (kg/h)	Öl (kg/h)	Gewicht kg	Abmessungen LxBxH	Leistung kW	Preis € (Netto)	Anmerkung
Strähle	SK 60/1	Kleinpresse mit Seiherscheiben, im Gestell mit flexiblen Saagtutisilo	12 - 15	4 - 5	135	1300x850x2300	1,5/2,2 kW, 380 V	3.950 ohne Drehzahlregelung 5.220 mit Drehzahlregelung 1.545 Zusatz: Fußgestell, Siloaufbau komplett	
	SK 60/2	2 gekoppelte SK60/1	25 - 30	8 - 10	194	1300x850x2300	1,5/2,2 kW, 380 V	6.640 ohne Drehzahlregelung 8.720 mit Drehzahlregelung 1.945 Zusatz: Fußgestell, Siloaufbau komplett	
Fries	SK 130/3	Seiherschneckenpresse	130 - 150	50	750	2330xca 900x630	7,5 kW, 380 V	23.230 ohne Schaltschrank	
	SR 130	Seiherschneckenpresse	80	27				Neuheit! noch in der Erprobung	
	SK 190/1	Seiherschneckenpresse	300	100	4500	4020xca 900x1160	22 kW, 380 V	47.600 ohne Schaltschrank	
	SK 250/1	Seiherschneckenpresse	500	170	6500	5355xca 900x1460	30 kW, 380 V	73.150 ohne Schaltschrank	
IBG Monforts Oekotec	P500R	mit Extruderschnecke und Presskopf	19 - 30	6,5 - 10	70	800x520x440	1,5 kW		
	500F	mit Extruderschnecke und Presskopf	19 - 23	6,5 - 8	66	800x520x440	1,1 kW		
Heizomat	CA 59 G	mit Extruderschnecke und Presskopf	5 - 8	2-3	80	680x580x550	1 kW, 220/380 V	3.360 mit stufenlosem Reibringgetriebe	
	D 85 - 1G	mit Extruderschnecke und Presskopf	10 - 25	3 - 8	310	1080x800x600	3,0 kW, 220/380 V	7.902 mit stufenlosem Reibringgetriebe	
	DD 85 G	mit Doppel-Schnecke und Presskopf	20 - 50	7 - 17	325	1200x800x600	3,0 kW, 220/380 V	10.970 mit stufenlosem Reibringgetriebe	
	SL 20 F	verlängerte Schnecke und Presskopf	70 - 100	23 - 33	440	1670x825x1320	7,5 kW, 220/380 V	21.474 Neuheit, verlängerte Schnecke zur Nachpressung	
	F200	Seiherschneckenpresse	180 - 200	60 - 67	750	2150x600x830	11,0 kW		
	Heizopress S1		30	10				ca. 3.550 Pflanzenölpresse in Blockbauweise	
Reinartz	AP 08	Seiherschneckenpresse	30 - 40	10 - 13			4 kW	13.100	
	AP 10/06	Seiherschneckenpresse	70 - 100	23 - 33			7,5 kW	18.600	
	AP 12	Seiherschneckenpresse	160 - 250	53 - 85			15 kW	33.000	
	AP 14/22	Seiherschneckenpresse	220 - 300	75 - 100			22 kW	50.400	
	AP 14/30	Seiherschneckenpresse	400 - 500	133 - 170			30 kW	70.400	
	AP 15/37	Seiherschneckenpresse	900 - 1000	300 - 335			37 kW	125.000 speziell für Rapssaat	
	AP 15/45	Seiherschneckenpresse	650 - 800	215 - 270			45 kW	127.900	
	AP 15/45	Seiherschneckenpresse	750 - 1000	250 - 335			45 kW	141.000 verlängerte Ausführung des Seiherkorbes, reduzierter Fettgehalt im Presskuchen	
	AP 25	Seiherschneckenpresse	1800 - 2500	600 - 830					
	KK 40/6	Doppelschneckenpresse	40	13 - 15	350	880x430	2,2/3 kW, 380 V		
KernKraft	PP015	Seiherschneckenpresse	15 - 30	5 - 10	112	900x700x750	2,2 kW	Kompaktheit mit Stirnradgetriebe für Drehzahlregelung	
	PO101	Seiherschneckenpresse	100	33	885	2240x1100x1500	7,5 kW	mit Drehzahlregelung, Wasserkühlung für Schneckenwelle und/oder Seiherkorb alternativ lieferbar	
	PO350	Seiherschneckenpresse	350 - 450	113 - 150	3800	3520x1220x1815	22 kW	mit Drehzahlregelung, Wasserkühlung für Schneckenwelle Standard, für Seiherkorb alternativ lieferbar	
KEK	EP 21	Seiherschneckenpresse	1042	347	7500	5700x900x1800	57 kW/380 V	mit Zuführschnecke	
	EP 26	Seiherschneckenpresse	2083	694	13200	7100x1100x2200	132 kW/380 V	mit Zuführschnecke	
	EP 15	Seiherschneckenpresse	250 - 333	85 - 110	2100	2650x500x1050	11 (15) kW	Kompaktbauweise	
	EP 21	Seiherschneckenpresse	1042 - 1458	347 - 486	7700	5700x900x2600	86 kW/380 V	Kompaktbauweise, vertikaler Dosierer in Kombination mit Zuführschnecke	
	EP 26	Seiherschneckenpresse	2917 - 3333	972 - 1110	13500	7100x1100x3300	174 kW/380 V	Kompaktbauweise, vertikaler Dosierer in Kombination mit Zuführschnecke	

Hersteller und Umrüster pflanzenöltauglicher Motoren in Deutschland

Quelle: Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe Straubing

Stand: August 2004

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Pkw	Nfz	BHKW
ATG Autozubehör-Technik Glött GmbH	Gartenstraße 11 D-89353 Glött Phone: ++49/(0)9075/8644 Telefax: ++49/(0)9075/8804 http://www.diesel-therm.de/	✓	✓	
Auto Pielmeier Herr Pielmeier	Wiedenhof 1 D-93167 Falkenstein Phone: ++49/(0)9462/706 Telefax: ++49/(0)9462/5205 http://www.pflanzenoel-technik.de/	✓		
Bio Car Lohmann Prototypenbau Herr G. Lohmann	Welfenstraße 12 D-81541 München Phone: ++49/(0)89/484837 Telefax: ++49/(0)89/484837 http://www.biocar.de/	✓	✓	
Elsbett Technologie GmbH Herr G. Elsbett	Weißburger Straße. 15 D-91177 Thalmässing Phone: ++49/(0)9173/77940 Telefax: ++49/(0)9173/77942 http://www.elsbett.com/	✓	✓	
Giese Energie- und Regeltechnik GmbH Herr Giese	Huchenstr. 3 D-82178 Puchheim Phone: ++49/(0)89/8001551 Telefax: ++49/(0)89/801849 http://www.giese-gmbh.de/			✓
Graml Landtechnik	Oberer Markt 25 D-94149 Kößlarn Phone: ++49/(0)89/8001551 Telefax: ++49/(0)89/801849 http://www.landtechnik-graml.de		✓	
Greenpower Herr K. Finger	Kreuzleweg 22 D-87459 Pfronten Phone: ++49/(0)8363/928836 Telefax: ++49/(0)8363/928762	✓	✓	✓
Hausmann Lackiererei Karosserie Herr S. Hausmann	Am Angertor 3 D-97618 Wülfershausen Phone: ++49/(0)9762/506 Telefax: ++49/(0)9762/506	✓	✓	(✓)

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Pkw	Nfz	BHKW
Henkelhausen GmbH & Co. KG Herr von Quirstorp Herr Schiffer	Hafenstr. 51 D-47809 Krefeld Phone: ++49/(0)2151/574-207 Telefax: ++49/(0)2151/574-112 http://www.henkelhausen.com/		✓	Ⓢ
KW-Energietechnik Herr K. Weigel	Hauptstr. 33 D-92342 Freystadt-Sulzkirchen Phone: ++49/(0)9179/5880 Telefax: ++49/(0)9179/90562 http://www.kw-energietechnik.de/			✓
KPM Pflanzenöl-Marine-Motoren Herr J. Krahwinkel	Ahlershof 18 D-56112 Lahnstein Phone: ++49/(0)2621/40550 Telefax: ++49/(0)2621/18398 http://www.krahwinkel-kpm.de/	✓	✓	Ⓢ
KSW Bioenergie GmbH Herr Ergun Çehreli	Herkulesstrasse 1-7 D-45127 Essen Phone: ++49/(0)228/987700 Fax: ++ 49/(0)228/9877020			^ 600 kW el
KTV Krüger Teilevertrieb Herr B. Schnitzer	Schlingenerstraße 2-3 D-87668 Rieden Phone: ++49/(0)8346/9206-15 Telefax: ++49/(0)8346/9206-11 http://www.krueger-tv.de/	✓	✓	
LBAG Lüchow Herr Goltz	Am Kleinbahnhof 5 29439 Lüchow Phone: ++49/(0)5841/9550 Telefax: ++49/(0)5841/95511		✓	
MANN Naturenergie GmbH & Co. KG Herr S. Döring Herr M. Mann	Schulweg 8-14 D-57520 Langenbach/Westerwald Phone: ++49/(0)2661/6262-52 Telefax: ++49/(0)2661/6262-55 http://www.emil-mann.de			✓
Max Stangl Landtechnik Herr M. Stangl	Mooser Strasse D-94554 Moos Langenisarhofen Phone: ++49/(0)9938-327 Telefax: ++49/(0)9938-1577		✓	
MWB Motorenwerke Bremerhaven AG Niederlassung Nordhausen Herr Dr. H.-J. Kampmann	Alte Leipziger Straße 50 D-99734 Nordhausen Phone: ++49/(0)3631/918350 Telefax: ++49/(0)3631/918340 http://www.mbw.ag			✓
MWS Löschenkohl & Mitter Motorenwerk Schönebeck GmbH Herr M. Tabatzki	Barbarastraße 9 D-39218 Schönebeck Phone: ++49/(0)3928/454 250 Telefax: ++49/(0)3928/454 613		✓	✓
Natur-Energie-Technik Dosch & Stumpf G.b.R. Herr M. Stumpf	Bocksbeutelstraße 2 D-97337 Dettelbach Phone: ++49/(0)9324/980-899 Telefax: ++49/(0)9324/980-811	✓	✓	✓

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Pkw	Nfz	BHKW
Naturpower Pflanzenöltechnik Herr J. Heinrich	Weinberge 26 D-15806 Zossen Phone: ++49/(0)3377/302307 Telefax: ++49/(0)3377- 302308 http://www.naturpower.de/	✓	✓	(✓)
OIKO Energy GmbH Herr H. Stephan	Pilgerndorf 40 D-96142 Hollfeld Phone: ++49/(0)9206/992425 Telefax: ++49/(0)9206/992426 http://www.oikoenergy.de/			✓
Raps Bio Power System Herr E. Bugelmüller	Espanstraße 6 D-90602 Seligenporten Phone: ++49/(0)9180/2263 Telefax: ++49/(0)9180/930778 http://www.rpsbiopowersystem.de/	✓	✓	
Reconet Herr Salinger	Osserstraße 32 D-94209 Regen Phone: ++49/(0)9921/9719278 Telefax: ++49/(0)9921/4190 http://www.reconet.de/	✓	✓	
Thomas Gruber KG Herr Höpfinger	Schweppermannstr. 36 D-84539 Ampfing Phone: ++49/(0)8636/50235 Telefax: ++49/(0)8636/50231		✓	
VWP Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie GbR Herr T. Kaiser	Am Steigbühl 2 D-90584 Allersberg Phone: ++49/(0)9174/2862 Telefax: ++49/(0)9174/2621 http://www.pflanzenoel-motor.de	✓	✓	(✓)
Wärtsilä Deutschland GmbH Herr Olaf Neum	Schlenzigstr. 6 D-21107 Hamburg Phone: ++ 49(0)40/75190153 Fax: ++49(0)40/75190194 Mob: ++49(0)171 4920430			> 1000 kW el
Wolf Pflanzenöl-Technik Herr H. Wolf	Ringstr. 28 D-97508 Untereuerheim Phone: ++49/(0)9729/6948 Telefax: ++49/(0)9729/6948 http://www.wolf-pflanzenoel-technik.de/	✓		
3 E GmbH Herr H.-W. Janßen	Schotten 6 D-25554 Nortorf/Wilster Phone: ++49/(0)4823/92964 Telefax: ++49/(0)4823/920761 http://www.dreiegbmh.de	✓	✓	(✓)

Anmerkung:




Als Motorenhersteller sind nur die Firmen MWB Nordhausen und MWS Schönebeck, früher auch die Fa. Elsbett Thalmässing einzuordnen. Alle übrigen Firmen sind ausschließlich Umrüster.

Lizenznehmer und Vertragspartner der aufgeführten Firmen sind nicht berücksichtigt.

Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Deutscher Qualitätsstandard für Rapsöl-Kraftstoff

Quelle: LT Weihenstephan, Freising 2000

	LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihenstephan		in Zusammenarbeit mit:	
	Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)		 	
		05/2000		
Eigenschaften / Inhaltsstoffe	Einheiten	Grenzwerte		Prüfverfahren
		min.	max.	
für Rapsöl charakteristische Eigenschaften				
Dichte (15 °C)	kg/m ³	900	930	DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185
Flammpunkt nach P.-M.	°C	220		DIN EN 22719
Heizwert	kJ/kg	35000		DIN 51900-3
Kinematische Viskosität (40 °C)	mm ² /s		38	DIN EN ISO 3104
Kälteverhalten				Rotationsviskosimetrie (Prüfbedingungen)
Zündwilligkeit (Cetanzahl)				Prüfverfahren wird evaluiert
Koksrückstand	Masse-%		0,40	DIN EN ISO 10370
Iodzahl	g/100 g	100	120	DIN 53241-1
Schwefelgehalt	mg/kg		20	ASTM D5453-93
variable Eigenschaften				
Gesamtverschmutzung	mg/kg		25	DIN EN 12662
Neutralisationszahl	mg KOH/g		2,0	DIN EN ISO 660
Oxidationsstabilität (110 °C)	h	5,0		ISO 6886
Phosphorgehalt	mg/kg		15	ASTM D3231-99
Aschegehalt	Masse-%		0,01	DIN EN ISO 6245
Wassergehalt	Masse-%		0,075	pr EN ISO 12937

Anmerkung: Dieser Qualitätsstandard bildet die Grundlage für die derzeit in Bearbeitung befindliche DIN 51506.

Vergleich nationaler Standards für Biodiesel

Quelle: BLT Wieselburg, Österreich

Comparison of different national standards * for Biodiesel							
	Austria ¹⁾	Czech Republic	France	Germany	Italy	Sweden	USA
Standard /Spezifikation	ON C1191	CSN 65 6507	Journal Officiel	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM PS121-99
Datum	Jul 97	Sep 98	Sep 97	Sep 97	Apr 97	Nov 96	Jul 99
Anwendung	FAME	RME	VOME	FAME	VOME	VOME	FAMAE
Dichte 15°C g/cm	0,85...0,89	0,87...0,89	0,87...0,90	0,875...0,90	0,86...0,90	0,87...0,90	-
Viskos. 40°C mm ² /s	3,5...5,0	3,5...5,0	3,5...5,0	3,5...5,0	3,5...5,0	3,5...5,0	1,9...6,0
Distillat.95% °C	-	-	<360	-	<360	-	-
Flammpunkt °C	>100	>110	>100	>110	>100	>100	>100
CFPP °C (°F) Sommer	<0 (32)	-5	-	<0 (32)	-	-5	-
CFPP °C (°F) Winter	<-15 (5)			<-20 (-4)			
Verflüssigung °C	-	-	<-10	-	<0/ <-15	-	-
Schwefel , % Masse	<0,02	<0,02	-	<0,01	<0,01	<0,001	<0,05
CCR 100%, % Masse	<0,05	<0,05	-	<0,05	-	-	<0,05
10% dist. resid., % Masse	-	-	<0,3	-	<0,5	-	-
schwef. Asche, % Masse	<0,02	<0,02	-	<0,03	-	-	<0,02
(Sauerst.) Asche, % Masse	-	-	-	-	<0,01	<0,01	-
Wasser mg / kg	-	<500	<200	<300	<700	<300	<0,05 %
Total Verunr. mg / kg	-	<24	-	<20	-	<20	-
Cu-Korros. 3h/50°C	-	1	-	1	-	-	<No. 3
CetaneWert	>49	>48	>49	>49	-	>48	>40
Neutral. Nr./ mg KOH/g	<0,8	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<0,8
Methanol, % Masse	<0,20	-	<0,1	<0,3	<0,2	<0,2	-
Ester, % Masse	-	-	>96,5	-	>98	>98	-
Monoglyceride., % mass	-	-	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	-
Diglyceride, % Masse	-	-	<0,2	<0,4	<0,2	<0,1	-
Triglyceride, % Masse	-	-	<0,2	<0,4	<0,1	<0,1	-
Freies Glycerol, % Masse	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02
Total Glycerol, % Masse	<0,24	<0,24	<0,25	<0,25	-	-	<0,24
Jodwert	<120	-	<115	<115	-	<125	-
C18:3 und hoch ungesät. Säuren % Masse	<15	-	-	-	-	-	-
Phosphor, mg / kg	<20	<20	<10	<10	<10	<10	-
Alkaliät mg/kg	-	<10	<5	<5	-	<10	-
RME: Rapeseed oil methyl ester							
FAME: Fatty acid methyl ester							
VOME: Vegetable oil methyl ester							
FAMAE: Fatty acid mono alkyl ester							
(1) basiert auf dem weltweit ersten Biodieselstandard, ÖNORM C 1190 (Feb 1991)							

Ausgewählte Daten von Pflanzenöl-Mischkraftstoffen

Quelle: MAURER (2004)

Kenndaten	Einheit	Esterol 20		RG 4 A	Tessol I		Tessol II	Emulsion	Rapsöl	Diesel
		80% RME 20% Ethanol	80% Rapsöl 50% Flug- petrol (Jet A-1) 0,1% DK plus	80% Rapsöl 14% Testbenzin (TB 180/210) 6% Alkohol (C ₃ H ₈ O)	60% Rapsöl 35% RME 5% Alkohol (C ₈ H ₁₈ O)	93,8% Rapsöl 6% H ₂ O (deminerali- siert) 0,2% Emul- gator	(kaltge- presst) (RK- Qualitäts- standard 2000)	DIN EN 590 zum Vergleich		
Dichte (bei 15 °C)	kg/m ³	867	864	895	895	891	924	918	834	
kin. Viskosität (bei 40 °C)	mm ² /s	3,1	6,3	1	15,2	11,7	39,2	34,7	2...3,5	
Flammpunkt	°C	19	55	15	77	100	>200	246	74	
Stockpunkt	°C	-23	-30	-5,5	5	1	18	14	< -15/-24	
Koksrückstand n. Conr.	M-%	0,04	47	0,33	0,35	0,42	0,45	0,34	<0,01	
Cetanzahl	-	48	380	39	38	45	21	40	51	
Wassergehalt	mg/kg	13 000	380	470	350	500	77600	460	<200	
Heizwert	MJ/kg	34,6	37,2	37,2	37,7	38,6	34,9	37,5	42,8	
volumetr. Abweichung zu DK	MJ/l	30	33,3	33,3	33,7	34,4	32,2	34,5	35,5	
Ergebnisse von Motorprüf- stands- und -feldtests:	%	-15,5	-6,2	-6,2	-5,1	-3,1	-9,3	-2,8	-	
Eignung als DK-Ersatz (in nicht umgerüsteten Dieselmotoren)		(ja)	(ja)	nein	nein	nein	nein	nein	-	

Definition der kraftstoffspezifischen Kennwerte

Quelle: REMMELE (2002)

Kennwort	Kommentar	Beispiel für Prüfverfahren	Einheit	Anwendung		
				Diesel-	Fettsäure-methylester	Pflanzenöl
Alkalimetalle	Ablagerung an Einspritzdüsen, Heißkorrosion im Motor, katalysatorgift	NF T60 706-1, -2	mg/kg		✓	
Asche	Oxidasche, Gehalt anorganischer Fremdstoffe	DIN EN ISO 6245	Masse-% % (m/m)	✓		✓
Azidität	Siehe Neutralisationszahl	DIN EN ISO 660	Masse-% % (m/m)		✓	✓
Brechungsindex	Winkelverhältnis zwischen einfallendem und ausfallenden Lichtstrahl	DGF C-IV 5 (52)	-			✓
Brennpunkt	niedrigste Temperatur, bei der Flüssigkeit nach Annäherung einer Flamme dauerhaft brennt	DGF C-IV 8 (52)	°C			✓
Cetanindex	Beurteilung der Zündwilligkeit ohne Messung der Cetanzahl	EN ISO 4264	-	✓		
Cetanzahl	Maß für die Zündwilligkeit	EN ISO 5165	-	✓	✓	
CFPP	niedrigste Temperatur, bei der Dieseldieselkraftstoff noch fließt und filtergängig ist	EN 116	°C	✓	✓	
Cloudpoint	Temperatur, bei der Parafinkristalle sichtbar werden	EN 23015	°C	✓		
Crismer-Wert	Mischbarkeit in Lösungsmittel	AOCS Cb 4-35	-			✓
Destillation	Eckpunkte des Siedeverlaufs	prEN ISO 3405	% (V/V) °C	✓		
Dichte	Messwert zur Bestimmung der Masse eines Kraftstoffvolumens bei bestimmter Temperatur	EN ISO 3675 EN ISO 12185	kg/m ³	✓	✓	✓
Diglyceride	Maß für die Vollständigkeit der Umesterung	NF T60 704	% (m/m)			
Ester	Spezifikation von FAME	ISO 5508	% (m/m)		✓	
Fettsäuremuster	prozentualer Anteil der Fettsäuren	DGF C-VI 10a (98)	%		✓	
Flammpunkt	Temperatur, bei der ein durch Fremdzündung entflammbares Dampf-Luft-Gemisch entsteht	EN 22719	°C		✓	✓
Freies Glycerin	Maß für die Vollständigkeit der Umesterung	NF T60 704 UNI 22054	% (m/m)	✓	✓	✓
Gesamtglycerin	Maß für die Vollständigkeit der Umesterung	NF T60 704	% (m/m)		✓	
Gesamtverschmutzung	ungelöste Fremdstoffe im Kraftstoff	EN 12662	mg/kg	✓	✓	✓
Heizwert	Energie, die bei der Verbrennung freigesetzt werden kann	DIN 51900-3	kJ/kg	✓	✓	✓

Iodzahl	Maß für die Anzahl der Doppelbindungen	DIN 53241-1 ISO 3961	g/100g -		✓	✓
Koksrückstand	Maß für Verkokungsneigung, z.B. an Einspritzdüsen	EN ISO 10370	Masse-% % (m/m)	✓	✓	✓
Korrosionswirkung auf Kupfer	Maß für korrosive Wirkung des Kraftstoffs	EN ISO 2160	-	✓	✓	
Lubricity	Schmierfähigkeit des Dieselmotorkraftstoffs	ISO 12156-1	µm	✓		
Mehrfachungesättigte Methyl-ester C18:3 und höher	Ablagerung im Brennraum und an Einspritzdüsen	NF T60 703	% (m/m)		✓	
Methanol	Rückstand aus der Umesterung	NF T 60 701 E DIN 51608	% (m/m)		✓	
Monoglyceride	Maß für die Vollständigkeit der Umesterung, führt zu Problemen mit Kupferlagern	NF T60 704	% (m/m)		✓	
Neutralisationszahl	Gehalt an freien Fettsäuren	DIN EN ISO 660 EN 12634	mg KOH/g		✓	✓
Oxidationsstabilität	Verklebung, Verharzung, Wechselwirkung mit Motorenöl	EN ISO 12205 ISO 6886	g/m ³ h	✓	✓	✓
Peroxidzahl	Maß für den oxidativen Verderb	ISO 3960 DGF C-VI 6a (98)	mmol O ₂ /kg			✓
Phosphor	Ablagerung im Brennraum, Katalysatorgift	ASTM D3231-99 NF T60 705	mg/kg		✓	✓
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	Polyaromaten erhöhen die Partikelemissionen	IP 391/95	% (m/m)	✓		
Pourpoint	niedrigste Temperatur, bei der Öl noch fließt, unter festgelegter Abkühlung	DIN ISO 3016	°C	✓		
Rauchpunkt	Aerosol-Bildung bei bestimmter Temperatur	DGF C-IV) (84)	°C			✓
Säurezahl	siehe Neutralisationszahl	DIN EN ISO 660	mg KOH/g		✓	✓
Schwefel	Verbrennung zu SO ₂ und Anlagerung an Partikel	EN ISO 14596 ASTM D5453-93	mg/kg	✓	✓	✓
Sterole	Kristallisation bei niedrigen Temperaturen	ISO 6799	mg/kg		✓	✓
Sulfatasche	Gehalt an Erdalkalimetallen	ISO 3987	%		✓	
Tocopherole	natürliche Antioxidantien	GC, HPLC	ppm			✓
Triglyceride	Maß für die Vollständigkeit der Umesterung	NF T60 704	% (m/m)		✓	
Unverseifbares	der Teil eines Öles, der nach der Verseifung mit einem Lösungsmittel extrahierbar ist	DGF C-III 1a (77) DGF C-III 1b (77)	Masse-% % (m/m)			✓
Verseifungszahl	Maß für freie und gebundene Säuren	DGF C-V 3 (77)	mg KOH/g			✓
Viskosität	Kraftstoff-Förderverhalten und -Zerstäubung	EN ISO 3104	mm ² /s	✓	✓	✓
Wasser	Filterverstopfung bei niedrigen Temperaturen, Beschleunigung der Alterung bei FAME und Pflanzenöl	pr EN ISO 12937	Masse-% % (m/m)	✓	✓	✓

Presskosten für Rizinus- und Rapsöl (Modellrechnung)

Quelle: WOLF (2004)
Ölausbeute

Anlagenkapazität	Raps:		33 kg/100 kg Saat		50		150		500	
	Rizinus:		42 kg/100 kg Saat		50		150		500	
	kg/h	h/a	kg/h	h/a	kg/h	h/a	kg/h	h/a	kg/h	h/a
- Betriebsstunden	3.000	150	5.000	250	7.000	350	3.000	450	5.000	7.000
Saatgutbedarf										
Produktion										
- Pflanzenöl										
- Raps	50	83	116	147	149	189	248	315	441	347
- Rizinus	63	105	147	189	189	283	315	441	441	495
- Presskuchen										
- Raps	101	168	235	302	302	435	503	609	704	1.005
- Rizinus	87	145	203	261	261	350	435	503	609	870
Investitionen ¹⁾										
- Ölpresse	€	12.000	€	25.000	€	75.000	€	25.000	€	75.000
- Filteranlage, Tanks	€	15.000	€	30.000	€	85.000	€	30.000	€	85.000
- Silos, Förderrichtungen, Montage, Verrohrung	€	5.000	€	30.000	€	50.000	€	30.000	€	50.000
- Presskuchenerlager, sonstiges	€	5.000	€	15.000	€	20.500	€	15.000	€	20.500
Gesamtinvestitionen	€	37.000	€	100.000	€	230.500	€	100.000	€	230.500
lfd. Betriebskosten										
- Personalkosten ²⁾	€/a	2.970	€/a	4.950	€/a	6.930	€/a	7.500	€/a	12.500
- Energiekosten ³⁾ (5,10 €/t Saat)	€/a	765	€/a	1.275	€/a	1.785	€/a	2.295	€/a	3.825
- Wartung/Reparatur ³⁾ (1,75€/t Saat)	€/a	263	€/a	438	€/a	613	€/a	788	€/a	1.838
- Versicherungen usw. ³⁾ (1,6€/t Saat)	€/a	240	€/a	400	€/a	560	€/a	720	€/a	1.680
- Verwaltungskostenanteil ⁴⁾	€/a	1.485	€/a	2.475	€/a	3.465	€/a	3.750	€/a	8.750
- Abschreibungen (15%)	€/a	5.550	€/a	5.550	€/a	5.550	€/a	15.000	€/a	15.000
Kostenbelastung gesamt⁵⁾	€/a	11.273	€/a	15.088	€/a	18.903	€/a	30.053	€/a	50.123
- je t Saat	€/t	75,15	€/t	60,35	€/t	54,01	€/t	66,78	€/t	47,74
- je t Öl für Rapsöl	€/t	227,73	€/t	182,88	€/t	163,66	€/t	202,37	€/t	144,65
für Rizinusöl	€/t	178,93	€/t	143,69	€/t	128,59	€/t	159,01	€/t	113,66
- je Liter Öl für Rapsöl	€/l	0,21	€/l	0,17	€/l	0,15	€/l	0,19	€/l	0,13
für Rizinusöl	€/l	0,17	€/l	0,14	€/l	0,12	€/l	0,15	€/l	0,11

Anmerkungen:
 1) Investitionskosten gerundet, ohne Gebäude, Wege u.ä.
 2) für Anlage mit 50 kg/h Saatdurchsatz: 3 Std. je 20.- € je 1000 l Öl (nach BOKERMANN, 2005) für Anlage mit 150 u. 500 kg/h Saatdurchsatz: 3 Std./Tag je 20.- € (nach STRÄHLE, 2001)
 3) berechnet nach STRÄHLE, 2001 unter Berücksichtigung einer pauschalen Kostensteigerung um ca. 5 bis 8 %
 4) aus praktischen Erfahrungen für Kleinanlagen: 50% der Personalkosten
 5) ohne Berücksichtigung von Kosten für Gebäude, Mieten

Rentabilität der Rizinus- und Rapsölgewinnung (Modellrechnung)

Quelle: WOLF (2004)

Anlagenkapazität	kg/h	50		150		500				
		3.000	5.000	7.000	3.000	5.000	7.000	3.000	5.000	7.000
- Betriebsstunden	h/a	150	250	350	450	750	1.050	1.500	2.500	3.500
- Saatgutbedarf	t/a	50	83	116	149	248	347	495	825	1.155
- Produktion	t/a	63	105	147	189	315	441	630	1.050	1.470
- Rizinus-Öl	t/a	101	168	235	302	503	704	1.005	1.675	2.345
- Raps-Presskuchen	t/a	87	145	203	261	435	609	870	1.450	2.030
- Rizinus-Presskuchen	t/a									
Rentabilitätsrechnung										
- Saatgut-Kosten	€/a	2.700	4.500	6.300	8.100	13.500	18.900	27.000	45.000	63.000
- Rizinus	€/a	3.750	6.250	8.750	11.250	18.750	26.250	37.500	62.500	87.500
- Produktionskosten Öl	€/a	11.273	15.088	18.903	30.053	40.088	50.123	58.500	74.450	90.400
Gesamtkosten										
- Rapsölgewinnung	€/a	13.973	19.588	25.203	38.153	53.588	69.023	85.500	119.450	153.400
Erlöse										
- Presskuchen (Raps)	€/a	1.307	2.178	3.049	3.920	6.533	9.146	13.065	21.775	30.485
- Presskuchen (Rizinus)	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mindest Erlöse für Pflanzenöl¹⁾										
- Rapsöl ²⁾	€/a	16.068	22.526	28.983	43.875	61.626	79.376	98.325	137.368	176.410
- Rapsöl ³⁾	€/a	14.566	20.022	25.477	39.368	54.113	68.859	83.300	112.326	141.352
- Rizinusöl ⁴⁾	€/a	17.276	24.538	31.800	47.498	67.663	87.828	110.400	157.493	204.585
- Rapsöl ²⁾	€/t	325	273	251	295	249	229	199	167	153
- Rapsöl ³⁾	€/t	294	243	221	265	219	199	168	136	122
- Rizinusöl ⁴⁾	€/t	274	234	216	251	215	199	175	150	139

Fortsetzung auf nächster Seite.

Anlage 16 / Fortsetzung

Anlagenkapazität	kg/h	50		150		500	
		893	570	893	570	893	570
Im Vergleich: Kosten für Diesel ⁵⁾ Kosten für Rapsöl ⁶⁾	€/t	893	570	893	570	893	570
	€/t	893	570	893	570	893	570
Anteilige Kosten ⁷⁾ für: Saatgut - Raps ²⁾ - Rizinus ²⁾		17%	20%	18%	22%	27%	36%
		22%	25%	24%	28%	34%	43%
Ölgewinnung ⁸⁾ - Raps ²⁾ - Rizinus ²⁾		36%	42%	34%	41%	24%	32%
		33%	39%	32%	37%	22%	27%
Anlageninvest. - Raps ²⁾ - Rizinus ²⁾		35%	25%	34%	19%	35%	20%
		32%	23%	32%	17%	31%	17%

Anmerkungen:

- 1) zur Deckung der Produktionskosten (ohne Gebäude, Mieten) - mit kalkuliertem Gewinn von 15%, ohne Distributionskosten
- 2) ohne Berücksichtigung von Erlösen für Pressrückstände
- 3) mit Berücksichtigung der Erlöse für Pressrückstände
- 4) ohne Berücksichtigung von Erlösen für Pressrückstände
- 5) Dieselpreis enthält Mineralölsteuer (0,40 €/l), Distributionskosten und Gewinnspanne (für Großmengenbezug)
- 6) enthält Lager- und Distributionskosten, Gewinnspanne, mineralsteuerbefreit (für Großmengenbezug ab Ölmühle)
- 7) bezogen auf den oben berechneten Mindesterlös
- 8) ohne Anlageninvestition

Kosten der dezentralen Biodieselherstellung (Modellrechnung)

Quelle: VETTER (2004); WOLF (2005)

Parameter	Raps		Rizinius ⁴⁾							
	Öl	RME	Öl	RME						
Dichte	t/m ³	0,92	0,95							
Ausbeute	t/m ³	0,88	0,91							
Glycerinanteil (angen. Wert: 0 €/kg)	kg/t Saat	300	420							
	kg/m ³ RME	700	580							
		100	100							
Kosten und Erlöse										
Saatgutpreis ¹⁾	€/t Saat	150	170	190	210	230	255	285	315	345
Saatgutlagerung ²⁾	€/t Saat	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kosten für Abpressung des Öls	€/t Saat	190	210	230	250	270	295	325	355	385
Σ Presskosten inkl. Saatgut	€/t Saat	190	210	230	250	270	295	325	355	385
Presskuchenpreis ³⁾	€/t Kuchen	120	120	120	120	120	120	120	120	120
abzgl. Erlös Presskuchen	€/t Saat	84	84	84	84	84	84	84	84	84
Σ Öl-Kosten	€/t Saat	106	126	146	166	186	206	226	246	266
Umesterung	€/t PME	353	420	487	553	620	687	754	821	888
Lagerung, Transport	€/t PME	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PME-Kosten frei Tankstelle	€/t PME	513	580	647	713	780	847	914	981	1048
Gesamtkosten je l PME bei unterschiedlichen Presskuchenpreisen										
110 €/T Kuchen	€/l PME	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95
120 €/T Kuchen	€/l PME	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,93
130 €/T Kuchen	€/l PME	0,43	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,79	0,85	0,91
140 €/T Kuchen	€/l PME	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89
150 €/T Kuchen	€/l PME	0,39	0,45	0,51	0,57	0,62	0,68	0,74	0,80	0,86

1) für Raps: Stand Nov. 2004, für Rizinius: angenommener Preis 150% von Rapssaat

2) lt. Leitlinie der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ohne Transportkosten

3) für Raps: Preis für Presskuchen als Futtermittel, für Rizinius: keine ökonomische Verwertung unterstellt

4) für Rizinius wurden in diese Modellrechnung aufgrund fehlender Angaben gleiche Pflanzenzögenungs- und Umesterungskosten unterstellt wie für Raps

Biodieselproduzenten in Deutschland

Quelle: IWR (www.iwr.de/biodiesel/kapazitaeten.html)

Betreiber	Ort	Bundesland	Kapazität (t/Jahr)	Bemerkungen
Produktionsanlagen, die bis 2000 in Betrieb gegangen sind				
Oelmühle Leer Connemann GmbH & Co.	Leer	Niedersachsen	100.000 t	seit 9/1996
Campa Biodiesel GmbH	Ochsenfurt	Bayern	75.000 t	seit 1/2000
Biodiesel Wittenberge GmbH	Wittenberge	Mecklenburg-Vorpommern	60.000 t	seit Ende 1999
Hallertauer Hopfen-Verwertungsgesellschaft	Mainburg	Bayern	8.000 t	Saisonbetrieb
Landwirtschaftliche Produktverarbeitungs GmbH	Henningsleben	Thüringen	5.000 t	seit 4/1998
Verwertungsgenossenschaft Biokraftstoffe	Großfriesen	Sachsen	1.500 t	seit 1996
Produktionsanlagen, die in 2001 in Betrieb gegangen sind				
Oelmühle Hamburg	Hamburg	Hamburg	120.000 t	seit 10/2001
Mitteldeutsche Umesterungswerke Bitterfeld	Bitterfeld	Sachsen-Anhalt	100.000 t	seit 10/2001
SARIA Bio-Industries GmbH & Co. Verw. KG	Malchin	Mecklenburg-Vorpommern	12.000 t	seit 10/2001
PPM Umwelttechnik GmbH & Co. KG	Oranienburg	Brandenburg	5.000 t	seit 11/2001
BKK Biodiesel GmbH	Rudolstadt	Thüringen	4.000 t	seit 11/2001
Produktionsanlagen, die 2002 in Betrieb gegangen sind bzw. bestehende Produktionskapazitäten erweitert haben				
NEW Natural Energie West GmbH	Marl	Nordrhein-Westfalen	100.000 t	seit Anfang 2002
Biodiesel Schwarzheide GmbH	Schwarzheide	Brandenburg	100.000 t	seit 10/2002
Mitteldeutsche Umesterungswerke Bitterfeld	Bitterfeld	Sachsen-Anhalt	Anlagenerweiterung um 50.000 t	in 2002
TME Thüringer-Methylesterwerke GmbH & Co. KG	Harth-Pöllnitz	Thüringen	45.000 t	seit Anfang 2002
Petrotec GmbH	Südlohn	Nordrhein-Westfalen	40.000 t	seit 5/2002
Biodiesel Bokel GmbH	Bokel	Niedersachsen	5.000 t	seit 09/2002
BioWerk Sohland GmbH	Sohland	Sachsen	5.000 t	seit 07/2002

Produktionsanlagen, die 2003 in Betrieb gegangen sind				
Rheinische Bioester GmbH	Neuss	Nordrhein-Westfalen	100.000 t	Anfang 2003
Bio-Ölwerk Magdeburg GmbH	Magdeburg	Sachsen-Anhalt	50.000 t	seit 3/2003
Biodiesel Kyritz GmbH	Kyritz	Brandenburg	30.000 t	set 3/2003
EOP Elbe Oel AG	Falkenhagen	Brunsbüttel	30.000 t	seit 3/2003
Kartoffelverwertungsgesellschaft Cordes & Stoltenburg GmbH & Co. KG	Schleswig	Schleswig-Holstein	15.000 tt	seit 5/2003
BioWerk Kleisthöhe GmbH	Uckerland	Brandenburg	5.000 t	seit 2003
Delitzscher Rapsöl GmbH & Co. KG	Wiedemar	Sachsen	5.000 t	seit 01/2003
Planung/Betrieb für 2004				
Rapsveredelung Vorpommern GmbH & Co. KG	Malchin	Mecklenburg-Vorpommern	37.000 t	seit 5/2004
Nevest AG	Rostock	Mecklenburg-Vorpommern	100.000	ab 2004
Marina Biodiesel GmbH	Brunsbüttel	Schleswig-Holstein	> 100.000	ab 2004
Anlagen in Planung für 2005				
J.C. Neckermann GmbH & Co.KG	Halle	Sachsen-Anhalt	36.000	2005
Stand: Mai 2004				

**In der Reihe
Bornimer Agrartechnische Berichte**

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998

Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999
Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas TM , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005

Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005
Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> -Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005
Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern	
	Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005
Heft 52	Optimierte Steuerung von Getreide-Schachttrocknern	2005
Heft 53	Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl	2005

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820
Fax.: (0331) 5699-849
E-Mail: atb@atb-potsdam.de

Schutzgebühr: 13,- €