

Handbuch

Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen



Handbuch

Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen

Handbuch

Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen

Diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Autor

Dr. Edgar Remmele
Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Schulgasse 18 • 94315 Straubing
Tel.: 09421/300-210 • Fax: 09421/300-211
poststelle@tfz.bayern.de • <http://www.tfz.bayern.de>



**Technologie- und
Förderzentrum**

Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 03843/6930-0 • Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de • <http://www.fnr.de>

Redaktion

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Abt. Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung und Herstellung

nova-Institut GmbH • 50354 Hürth
<http://www.nova-institut.de/nr>

Druck und Verarbeitung

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH • 50354 Hürth
<http://www.mediacolonne.de>

Bildnachweis

Herbert Sporrer (TFZ), Edgar Remmele (TFZ)

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, November 2009

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

FNR-Bestellnummer: 300
ISBN 978-3-9803927-9-2

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
----------------	----------



1 Einführung	7
---------------------	----------



2 Ölsaatenverarbeitung	8
-------------------------------	----------



3 Dezentrale Ölgewinnung in Deutschland	11
--	-----------



4 Planung einer dezentralen Ölmühle	14
--	-----------

4.1	Analyse der regionalen Märkte	14
4.2	Abschätzung der Stoffströme	15
4.3	Anlagenkomponenten einer dezentralen Ölmühle	15
4.3.1	Saatlager und Saatfördereinrichtungen	16
4.3.2	Saatzwischenbehälter und Saatvorwärmung	16
4.3.3	Schneckenpresse	17
4.3.4	Trubölbehälter	20
4.3.5	Fest/Flüssig-Trennung	20
4.3.5.1	Eigenschaften des Truböls	20
4.3.5.2	Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung	22
4.3.5.2.1	Sedimentation	23
4.3.5.2.2	Filtration	24
4.3.5.3	Entfeuchtung des Filterkuchens	28
4.3.6	Verfahren zur Reduzierung unerwünschter Fettbegleitstoffe	28
4.3.7	Additivierung	29
4.3.8	Pumpen	29
4.3.9	Reinöllager	29
4.3.10	Presskuchenlager	30
4.3.11	Abgabestellen für Rapsölkraftstoff	30

	5 Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Anlagen	31
5.1	Sortenwahl und Rapsanbau	32
5.2	Rapsernte	33
5.2.1	Saatreife	33
5.2.2	Auswuchs	34
5.2.3	Einstellungen des Mähdreschers	34
5.3	Transport der Rapssaat	35
5.4	Rapssaatreinigung	35
5.4.1	Besatz	35
5.4.2	Bruchkorn	36
5.5	Rapssaattrocknung	36
5.6	Rapssaatlagerung	37
5.7	Rapssaat zur Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen	37
5.8	Saatzuführung zur Ölpresse	38
5.9	Ölpresung	38
5.10	Fest/Flüssig-Trennung – Ölreinigung	39
5.11	Vergällung	42
5.12	Öllagerung	42
5.13	Transport von Rapsölkraftstoff	44
5.14	Abgabe von Rapsölkraftstoff	44
	6 Qualitätssicherung für Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen	45
6.1	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	46
6.2	EDV-gestützter Maßnahmenkatalog zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff	46
6.3	Beprobung und Dokumentation der Rapsölkraftstoffqualität	48
	7 Eigenschaften von Rapsölkraftstoff	51
7.1	Chemische und physikalische Eigenschaften	51
7.2	Vornorm DIN V 51605 Rapsölkraftstoff	51
7.3	Kraftstoffkennwerte	54
7.4	Ökologische Eigenschaften	57

	8 Qualität von Rapsölkraftstoff aus dezentralen Ölmühlen	58
	9 Betriebswirtschaftliche Aspekte der dezentralen Ölgewinnung	62
	10 Rechtliche Rahmenbedingungen	66
	10.1 Energiesteuergesetz und Bundes-Immissionsschutzgesetz	66
	10.2 Umsatzsteuergesetz	68
	10.3 Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen	68
	10.4 Eichgesetz	69
	10.5 Gesetz über Meldungen über Marktordnungswaren	69
	10.6 Vorschriften für die Futtermittelhygiene	69
	11 Faustzahlen	70
	12 Adressen	71
	12.1 Verbände und Einrichtungen	71
	12.2 Hersteller von Komponenten für Ölgewinnungsanlagen und Anlagenplaner	72
	12.3 Anbieter von Tankanlagen, Zapfsäulen und Zubehör für Rapsölkraftstoff	75
	12.4 Anbieter von Filterhilfsmitteln und Sorptionsmitteln	77
	12.5 Analysenlabore für Rapsölkraftstoffe	78
	13 Anhang	80
	13.1 Abbildungsverzeichnis	80
	13.2 Tabellenverzeichnis	83
	13.3 Quellenverzeichnis	84

Vorwort

Über verschiedene Projekte begleitet die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) das Thema Pflanzenöl als Kraftstoff. Die Vorteile: Unabhängigkeit von Energiemärkten und Umweltverträglichkeit sind unbestritten. Besonderen Charme gewinnt der Kraftstoff dadurch, dass der Landwirt ihn nicht nur anwenden, sondern auch selbst erzeugen kann. Nutzt er schließlich noch den Presskuchen als Futtermittel, profitiert er von einem weitgehend geschlossenen Stoff- und Wirtschaftskreislauf mit deutlich höherer Wertschöpfung.

Voraussetzung für einen technisch reibungslosen Pflanzenöleinsatz ist jedoch neben der werkseitigen Freigabe bzw. der professionellen Umrüstung des Motors und dem geeigneten Einsatzspektrum des Traktors die Qualität des Pflanzenöls. Im 100-Traktoren-Demonstrationsprojekt, das die FNR im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) von 2001 bis 2005 betreute, lag hier noch eines der Hauptprobleme. Rund die Hälfte der damals untersuchten Proben genügte den Anforderungen nicht. Diese Qualitätsmängel waren einer der Hauptgründe für eine Reihe von Motorschäden.

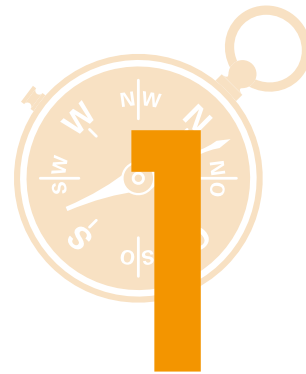
Glücklicherweise konnte die Rapsölqualität inzwischen deutlich verbessert werden. Dies ist zu gro-

ßen Teilen den Forschungs- und Aufklärungsarbeiten des Technologie- und Förderzentrums Straubing (TFZ), das mit Unterstützung der FNR und des BMELV das Projekt „Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung“ durchführte, zu verdanken. Diese Ergebnisse, aber auch neueste Erkenntnisse, unter anderem zur Additivierung, sind in erweiterter Form in diesem aktualisierten Handbuch zusammengestellt.

Ich hoffe, dass mit dieser Schrift noch mehr Ölmüller und/oder Landwirte als bisher von den Erkenntnissen der Wissenschaft profitieren werden. Nicht zuletzt erlaubt das Handbuch dem Praktiker, Rapsölkraftstoff in erforderlicher Qualität nach DIN V 51605 herzustellen und so auch einen Beitrag zur weiteren Durchsetzung dieses wichtigen Qualitätsstandards zu leisten.



Dr.-Ing. Andreas Schütte
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)



Einführung

Steigende Mineralölpreise, die Abhängigkeit von Erdölimporten und das Bestreben, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren sind Argumente, die Produktion und die Nutzung von Biokraftstoffen zu forcieren. Aufgrund günstiger steuerlicher Rahmenbedingungen, vergleichsweise niedriger Rohstoffkosten für Rapsaat und hoher Mineralölpreise etablierte sich in Deutschland ein bis in das Jahr 2007 stetig wachsender Markt für Biokraftstoffe aus Ölsaaten. Im Jahr 2007 wurde mit 7,2 % der bisher höchste Anteil am Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr durch biogene Kraftstoffe ersetzt und dadurch mehr als 10 Millionen t CO₂-Emissionen vermieden [23]. Neben 3,3 Millionen t Biodiesel wurden 772.000 t Pflanzenöl als Kraftstoff eingesetzt [23]. Ein deutlicher Einbruch im Absatz von Biokraftstoffen wurde 2008 verzeichnet. Der Anteil der Biokraftstoffe am gesamten Kraftstoffverbrauch schrumpfte auf 5,1 %. Insbesondere verschlechterten sich die Absatzmöglichkeiten für die Reinkraftstoffe Biodiesel und Pflanzenöl. So wurde beispielsweise im Jahr 2008 mit 401.000 t nur noch etwa halb soviel Pflanzenölkraftstoff verkauft wie im Jahr 2007 [23]. Unter dieser Entwicklung litten vor allem die dezentralen Ölgewinnungsanlagen, von denen ein großer Teil dieses Pflanzenölkraftstoffs aus Rapssaat produziert wird.

Um pflanzenöлтаugliche Motoren mit hoher Betriebssicherheit und unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an das Emissionsverhalten betreiben zu können, ist es erforderlich, dass Rapsölkraftstoff bestimmte Mindestanforderungen erfüllt. Diese Qualitätskriterien sind seit Juli 2006 in der Vornorm DIN V 51605 [29] festgelegt. Darum darf seit Januar 2009 ausschließlich Pflanzenölkraftstoff, der mindestens den Anforderungen der DIN V 51605 entspricht, in den geschäftlichen Verkehr gebracht werden [15]. Außerdem ist eine Steuerbegünstigung bei der Energiesteuer für Rapsöl als Biokraftstoff an die Einhaltung der DIN V 51605 gekoppelt [10]. Für die technisch und wirtschaftlich erfolgreiche Produktion von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmüh-

len muss deshalb vermehrt Augenmerk auf die Qualitätssicherung gelegt werden.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Forschungsarbeiten wurden durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert. Die ausführlichen Forschungsberichte, ein EDV-gestützter Maßnahmenkatalog für ein einzelbetriebliches „Qualitätsmanagement Rapsölkraftstoff“ und weiterführende Literatur können im Internet unter <http://www.tfz.bayern.de> abgerufen werden.

2 Ölsaaten- verarbeitung

Aus Ölsaaten kann sowohl in industriellen Ölmühen (zentrale Ölmühen, Großanlagen) mit Verarbeitungskapazitäten bis zu 4.000 t Ölsaat pro Tag als auch in dezentralen Kleinanlagen (dezentrale Ölmühen) mit Verarbeitungskapazitäten zwischen 0,5 und 25 t Ölsaat pro Tag (in Einzelfällen auch bis 250 t/d) Pflanzenöl produziert werden [53] [54].

Bei Erzeugnissen aus zentralen Ölmühen handelt es sich in der Regel um heißgepresste, mit Lösungsmittel extrahierte und (voll)raffinierte Pflanzenöle [21], während in dezentralen Anlagen durch schonende Ölsaatenverarbeitung sogenannte kaltgepresste Pflanzenöle hergestellt werden, die keine Raffinationsschritte durchlaufen [84]. Die Rapssaatqualität, der Abpressvorgang und die Ölsreinigung (Fest/Flüssig-Trennung) nehmen deshalb bei der de-

zentralen Ölsaatenverarbeitung großen Einfluss auf die Ölqualität. Die Verfahrensschritte der Ölgewinnung und der chemischen sowie physikalischen Raffination in (zentralen) industriellen Ölmühen zeigen Abbildung 1 bis Abbildung 3 [88]. Der Ablauf der Ölsaatenverarbeitung in dezentralen Kleinanlagen ist in Abbildung 4 dargestellt [88].

Es wird deutlich, dass sich die beiden Verfahren in ihrer Komplexität wesentlich unterscheiden. Außerdem bestehen Unterschiede im Aufwand an Lösungsmitteln, Chemikalien und Wasser sowie beim Anfall von Abwasser und Abfallstoffen. Und nicht zuletzt unterscheiden sich die beiden Verfahren in der Ölausbeute und damit auch im Restfettgehalt des Presskuchens beziehungsweise des Extraktionschrots.

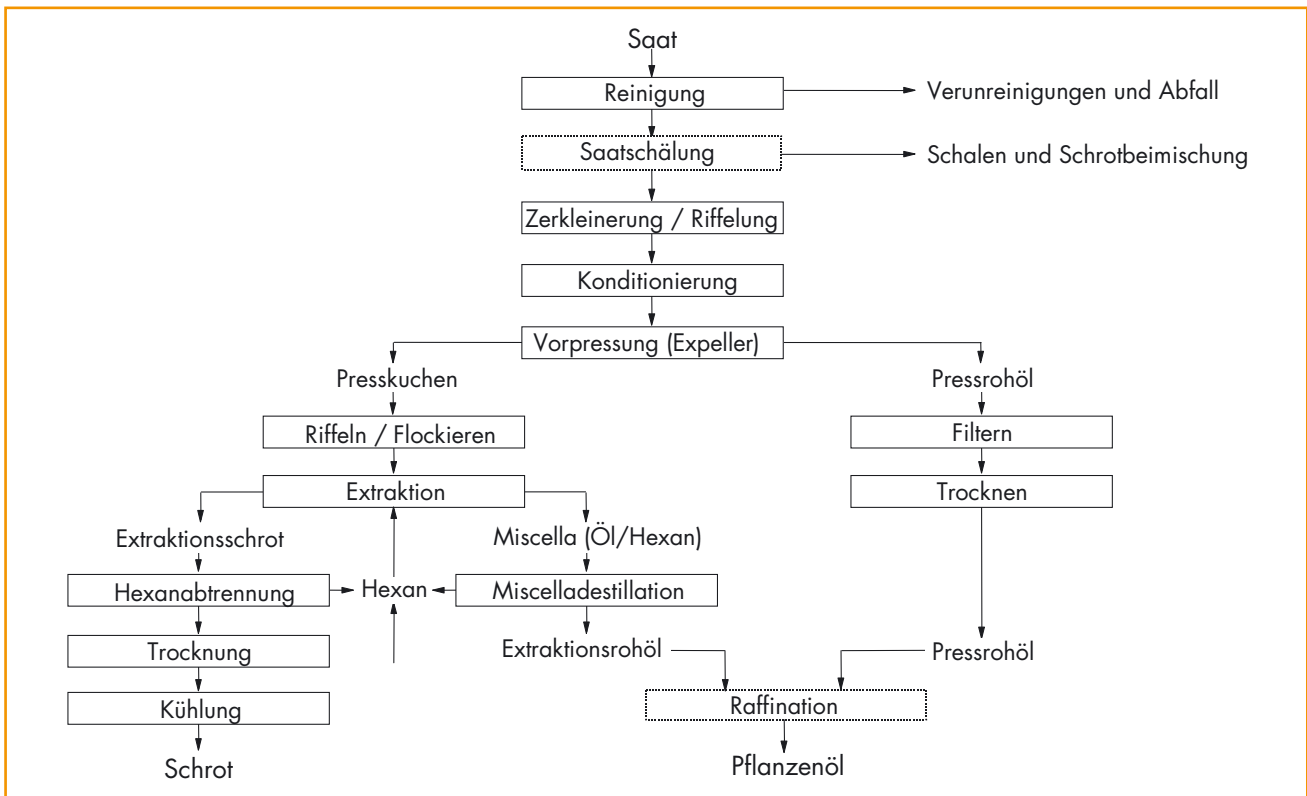


Abb. 1: Ölsaatenverarbeitung in (zentralen) industriellen Ölmühen

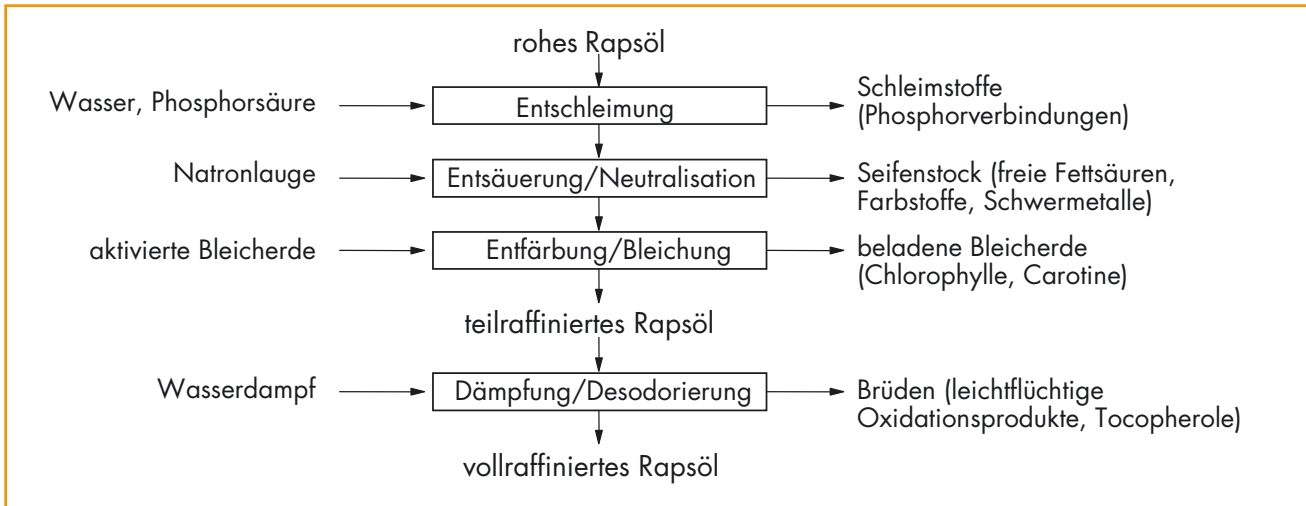


Abb. 2: Chemische Raffination von Rapsöl in (zentralen) industriellen Ölmühlen

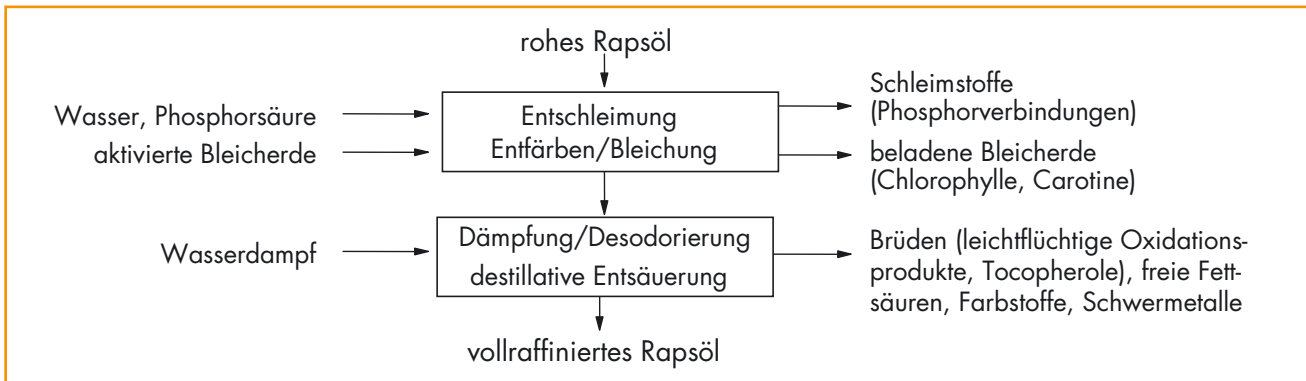


Abb. 3: Physikalische Raffination von Rapsöl in (zentralen) industriellen Ölmühlen

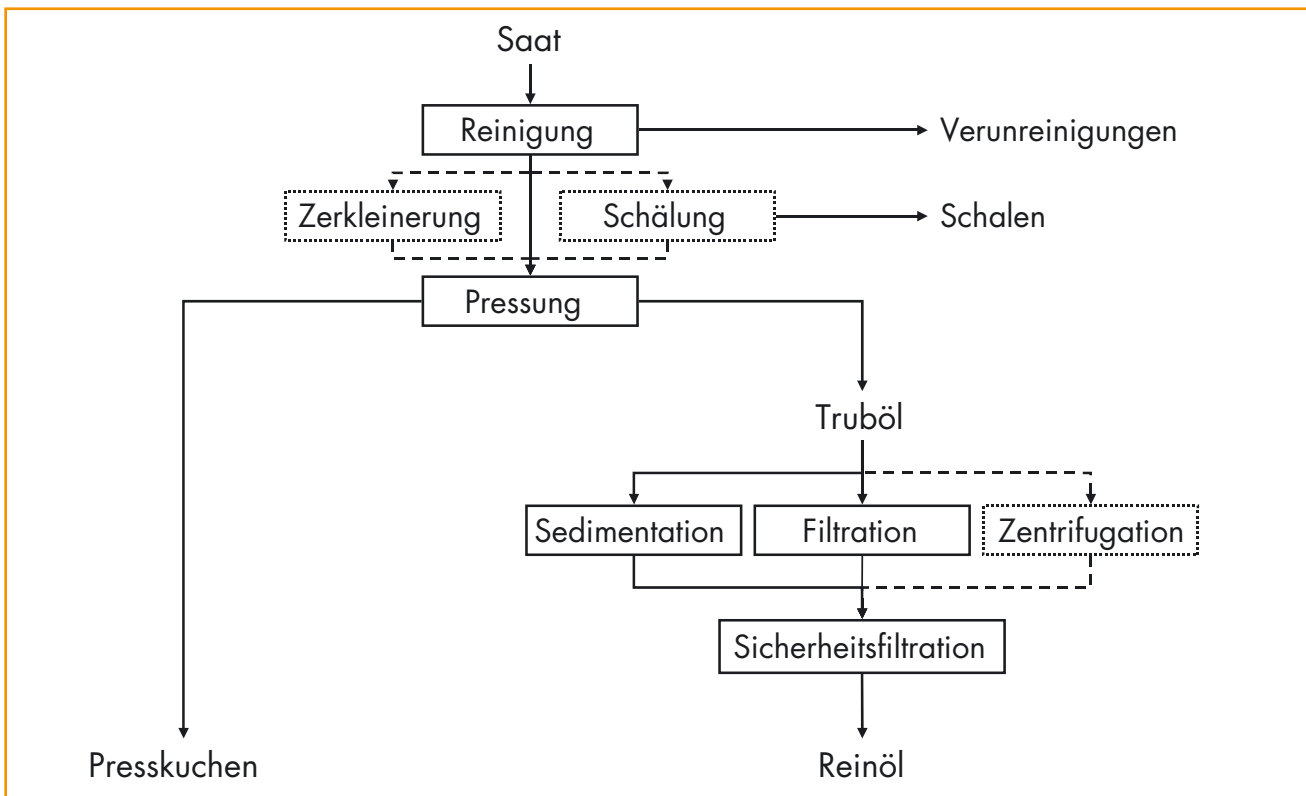


Abb. 4: Ölsaatenverarbeitung in (dezentralen) Kleinanlagen



2

Eine Definition dezentraler Ölgewinnungsanlagen beziehungsweise eine Abgrenzung zu zentralen Ölmühlen wurde von der KTBL-Arbeitsgruppe „De-

zentrale Ölsaatenverarbeitung“ vorgenommen [53]. Tabelle 1 fasst die Unterscheidungsmerkmale zusammen.

Tabelle 1: Ölsaatenverarbeitung in zentralen und dezentralen Anlagen – Definition und Abgrenzung (verändert und ergänzt nach KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (1999) [53])

Kriterium	zentrale Ölsaatenverarbeitung	dezentrale Ölsaatenverarbeitung
Betriebsform	überwiegend Kapitalgesellschaften (GmbH, AG); größtenteils eingebunden in nationale, europäische und internationale Konzerne; Großunternehmen	überwiegend mittelständische, genossenschaftliche (GmbH, EZG, e.V.) oder private Unternehmen; größtenteils nicht eingebunden in Konzerne
Standort	an zentralen Verkehrswegen gelegen: Wasserstraßen, Bahn, Straße	unmittelbar im Einzugsbereich der landwirtschaftlichen Produktion gelegen; Verkehrswege überwiegend Straße
Anlagenkonzept	Konditionierung der Saat, Pressen und Lösungsmittel-Extraktion; Raffination der Öle; Lösungsmittelabtrennung vom Extraktionsschrot; geringe Flexibilität bei Saatwechsel	Pressen ohne Lösungsmittel-Extraktion und Wärmebehandlung der Saat, Rohölsreinigung; hohe Flexibilität bei Saatwechsel
organisatorische Einbindung in die landw. Produktion	in der Regel von landwirtschaftlicher Produktion getrennt (mit Zwischenhandel)	direkte oder indirekte Einbindung in die landwirtschaftliche Produktion (kein Zwischenhandel)
Verarbeitungskapazität	über 500 t Saat pro Tag	bis 25 t Saat pro Tag (in Ausnahmefällen auch darüber)
Einzugsbereich	international	regional; unmittelbarer Umkreis um den Verarbeitungsstandort (ca. 50 km)
Transportlogistik	großtonnagige Transporte und Lagerung mit mehreren Zwischenstationen für Ölsaaten und Endprodukte; Transporte weltweit mit Schiff, Bahn über größere Strecken	überwiegend kleintonnagige direkte Transporte innerhalb des Einzugsgebietes; Transporte regional mit Lkw, Bahn
Produktsortiment	Voll- und Teilraffinate, vor allem aus Raps, Soja, Sonnenblumen, Lein; Extraktionsschrot	überwiegend kaltgepresste Pflanzenöle, aus einer Vielzahl von Ölsaaten; Presskuchen
Produktkenndaten	größtenteils standardisierte Qualitäten der Endprodukte; Extraktionsschrot mit Restfettgehalt von < 1 %	bislang nur teilweise standardisierte Qualität der Endprodukte; Qualitätsmerkmale zum Teil verbesserungsfähig; Presskuchen mit Restfettgehalt von 10 – 18 %
Umweltaspekte	hoher Aufwand für wirtschaftlichen Energieeinsatz und Umweltschutz; hohes Transportaufkommen	geringer Energiebedarf; kein Einsatz von Lösungsmitteln; keine produktionsbedingten Abwässer; geringes Transportaufkommen; Kreislaufwirtschaft
Vermarktung	weltweit große Parteien; food/non-food	regional; Bedienung von Marktnischen; food/non-food
Steigerung der Wertschöpfung für die Landwirtschaft	keine (Weltmarktpreise)	möglich (höhere Preise erzielbar)
Wirtschaftlichkeit	gegeben; Maßstab für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentraler Anlagen	abhängig von regionalen Marktgegebenheiten
Markterschließung	gesichert	Markterschließung für Nischenprodukte und alternative Nutzungen erforderlich



Dezentrale Ölgewinnung in Deutschland

Die Zahl der dezentralen Ölsaatenverarbeitungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland stieg bis zum Jahr 2007 stetig an. Im Frühjahr 2004 ^[78] und Mitte des Jahres 2007 ^[80] führte das Technologie- und Förderzentrum (TFZ), finanziell unterstützt durch die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Umfragen durch mit dem Ziel, belastbare Daten über die Branche zu erheben.

Während im Jahr 1999 lediglich 79 ^[53] und 2004 bereits 219 dezentrale Ölmühlen existent waren, so waren im August 2007 mindestens 585 Anlagen in Betrieb. Die meisten der befragten Ölmühlen wurden in den Jahren 2005 (24 %) und 2006 (35 %) errichtet. Der größte Teil, nämlich 42 % der Ölsaatenverarbeitungsbetriebe, befindet sich in Bayern. Den relativ höchsten Zuwachs bei der Anzahl dezentraler Ölmühlen zwischen den Jahren 2004 und 2007 konnten die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen verzeichnen.

Der Mittelwert für die Verarbeitungskapazität aller dezentralen Ölmühlen in Deutschland liegt bei 375 kg Ölsaate pro Stunde. Die durchschnittlichen Verarbeitungskapazitäten der dezentralen Ölmühlen sind jedoch regional sehr unterschiedlich. In Süddeutschland beträgt die Saatverarbeitungskapazität durchschnittlich 185 kg/h, in Ostdeutschland 280 kg/h und in Nordwestdeutschland 800 kg/h. Knapp drei Viertel der befragten Betriebe verarbeiteten weniger als 1.000 t Rapssaat pro Jahr. Im Jahr 2006 wurden hochgerechnet 889.000 t Rapssaat verarbeitet. Dabei wurden rund 303.000 t Rapsöl und 586.000 t Rapspresskuchen erzeugt. Die verarbeitete Menge Rapssaat entspricht ca. 16,7 % der deutschen Rapsernte. Die Saatverarbeitungskapazität hochgerechnet auf das Jahr 2007 liegt bei 1,7 Millionen Tonnen Rapssaat (Betrieb der Ölpresen bei Nennleistung, 330 Presstage, 585 Anlagen). Dies entspricht ca. 30 % der deutschen Rapsernte im Jahr 2007. Der Produktionsschwerpunkt von 72 % der Betriebe liegt in der Herstellung von Rapsöl. Bezogen auf die hochgerechnete Gesamtmenge des in dezentra-

len Ölmühlen im Jahr 2006 erzeugten Öls, wurden ca. 176.000 t als Rapsöl, 115.000 t als Grundöl für die Umesterung, 10.000 t als Futteröl, 800 t als Speiseöl und 2.000 t Öl für sonstige technische Zwecke vermarktet. Der Presskuchen wird zu nahezu 100 % als Futtermittel eingesetzt. Der größere Anteil mit 58 % wird in Futtermittelwerke geliefert. 42 % der gesamten Presskuchenmenge werden als Einzelfuttermittel abgesetzt.

Die regionale Ausrichtung der dezentralen Ölsaatenverarbeitung spiegelt sich im Einkauf der Saat bzw. im Vertrieb der Produkte wider. 8 % der Ölmühlenbetreiber verarbeiten ausschließlich Ölsaaten aus der eigenen Erzeugung und verbrauchen den anfallenden Presskuchen komplett im eigenen Betrieb. 59 % der dezentralen Ölmühlen beziehen durchschnittlich die Rapssaat aus einem Umkreis von weniger als 25 km und vermarkten in diesem Gebiet auch den Presskuchen. 11 % der Ölmühlen produzieren Öl ausschließlich für die Eigennutzung. Bei 47 % der Befragten wird das Öl in einem durchschnittlichen Radius kleiner 25 km vermarktet.

Im Jahr 2008 war die Produktion von Rapsöl in den dezentralen Ölmühlen geprägt von zum Teil erheblichen Absatzproblemen. Bei einer im Frühjahr 2008 vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) durchgeführten Blitzumfrage klagten 71 % von 109 befragten Ölmühlenbetreibern über „schlechten“ oder sogar „sehr schlechten“ Absatz. Bereits in der ersten Jahreshälfte musste ein Drittel der dezentralen Ölmühlen auf Grund schwindender Nachfrage nach Rapsöl aus dem Speditionsgewerbe zumindest vorübergehend stillgelegt und weitere ca. 60 % der Anlagen mussten mit deutlich gedrosselter Verarbeitungsleistung betrieben werden. Ursache hierfür war der fehlende Kaufanreiz für die Verbraucher durch zu hohe Rapsölpreise im Vergleich zum Dieselpreis. Die Wettbewerbsfähigkeit von Rapsöl ist dabei von mehreren Faktoren, nämlich dem Dieselpreis, dem Rapssaatpreis, den Verarbeitungskosten, dem

Dezentrale Ölgewinnung in Deutschland

Erlös für das Kuppelprodukt Presskuchen und nicht zuletzt von der Höhe der Energiesteuer für Rapsölkraftstoff, abhängig.

Die Verteilung der dezentralen Ölmühlen über die Bundesländer zum Stand August 2007 zeigt Tabelle 2 und Abbildung 5.

Tabelle 2: Dezentrale Ölmühlen in Deutschland – Stand August 2007

Bundesland	Anzahl der Anlagen
Baden-Württemberg	78
Bayern	246
Berlin	1
Brandenburg	15
Bremen	–
Hamburg	–
Hessen	22
Mecklenburg-Vorpommern	11
Niedersachsen	57
Nordrhein-Westfalen	63
Rheinland-Pfalz	38
Saarland	3
Sachsen	18
Sachsen-Anhalt	10
Schleswig-Holstein	8
Thüringen	15
Deutschland insgesamt	585

Waren zunächst hauptsächlich Landwirte und landwirtschaftliche Genossenschaften Betreiber dezentraler Ölmühlen, so interessierten sich in der Phase hoher Dieselmotorkraftstoffpreise immer mehr Spediteure sowie andere landwirtschaftsferne Branchen für die Ölsaatenverarbeitung in Kleinanlagen. Das Hauptziel vieler Landwirte, die Wertschöpfung im eigenen Betrieb zu erhöhen, lässt sich mit der Forderung der Umweltschonung, wie Tabelle 3 zeigt, in nahezu idealer Weise verknüpfen [87].

Tabelle 3: Ziele und Merkmale der dezentralen Ölgewinnung (nach WIDMANN, B. (1999) [87])

	Erhöhung der Wertschöpfung	Schonung der Umwelt
Merkmale der dezentralen Ölgewinnung	geringe Transportkosten	kurze Transportwege
	geringer technischer Aufwand	geringer Energieverbrauch
		geringer / kein Chemikalieneinsatz
		geringer / kein Abwasseranfall
	Wirtschaften in Stoffkreisläufen	Wirtschaften in Stoffkreisläufen

Grundvoraussetzungen für die Errichtung und den erfolgreichen Betrieb einer dezentralen Ölgewinnungsanlage sind in jedem Fall eine vorhergehende Analyse der regionalen Märkte und eine detaillierte Anlagenplanung sowie verlässliche politische Rahmenbedingungen.

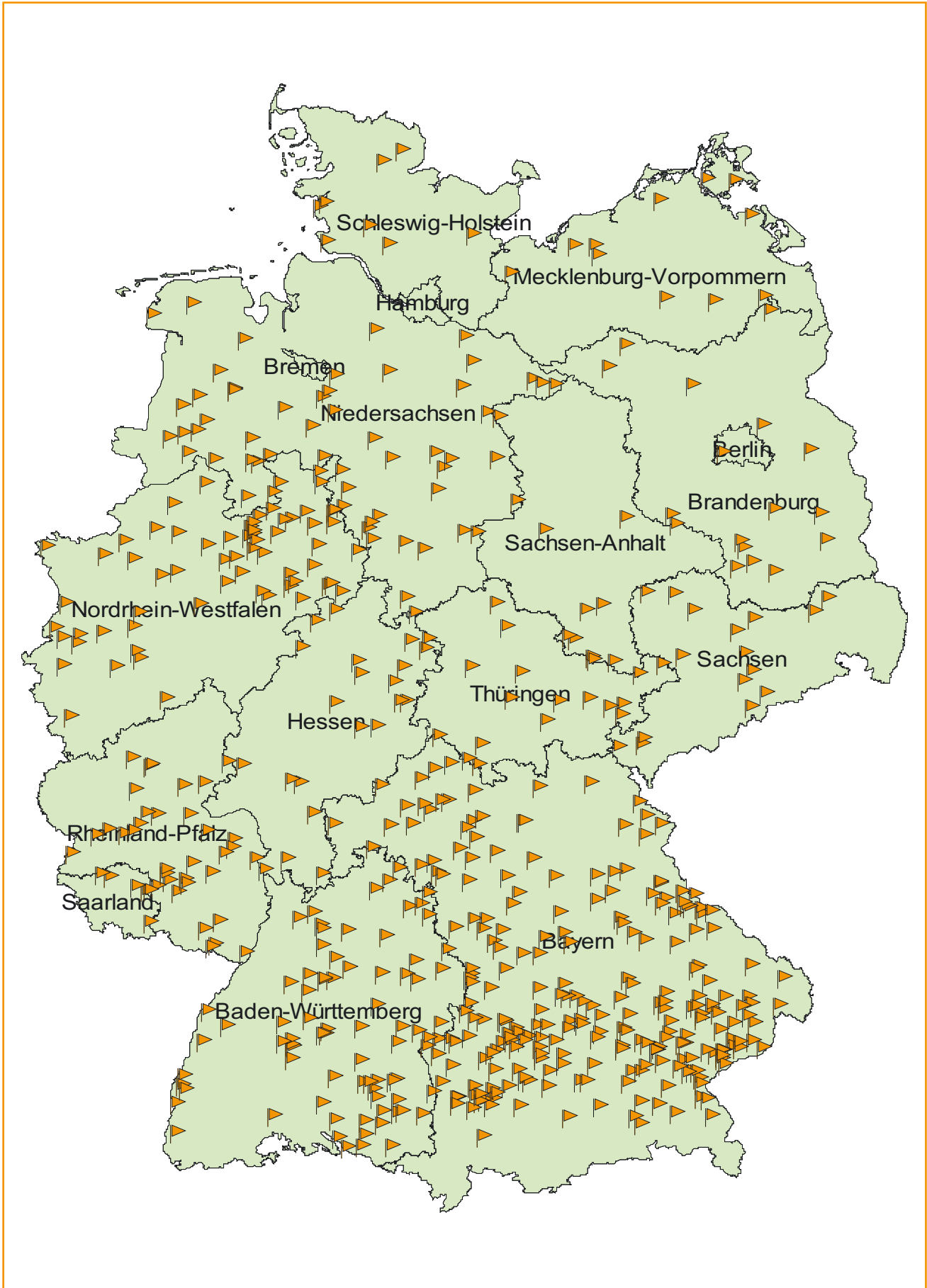


Abb. 5: Standorte der dezentralen Ölmühlen in Deutschland – Stand August 2007



Planung einer dezentralen Ölmühle

Der künftige Betreiber einer dezentralen Ölgewinnungsanlage muss sich zuerst mit der Frage auseinandersetzen, welche Produkte in der Ölmühle erzeugt werden sollen beziehungsweise anfallen. Selbstverständlich ist es möglich, in einer Ölmühle sowohl Rapsölkraftstoff, Grundöle für Schmierstoffe oder für die Umesterung zu Biodiesel, Speiseöle oder auch gezielt Presskuchen als Futtermittel zu produzieren, jedoch stellt jedes Produkt an die Ausstattung der Ölmühle, zum Beispiel hinsichtlich der Hygiene, der Abfüllanlagen, der Lagerhaltung und der Qualitätssicherungsmaßnahmen, andere Anforderungen. Soll Öl für verschiedene Verwendungszwecke produziert werden, so sinkt zwar das unternehmerische Risiko aus betriebswirtschaftlicher Sicht, da unterschiedliche Märkte bedient werden können und Nachfrageschwankungen für einzelne Produkte sich nicht so stark auswirken, jedoch erfordert zum Beispiel die Vermarktung zusätzliche Aktivitäten.

Vor allem der Arbeitszeitaufwand für die Vermarktung von Spezialitäten, wie zum Beispiel kaltgepresstes Speiseöl an lokale Abnehmer oder Distributoren, sollte nicht unterschätzt werden. Außerdem sollte vorab geklärt werden, ob unterschiedliche Ölsaaten oder nur eine Ölsaart verarbeitet werden sollen und ob die erzeugten Produkte nur der Eigenversorgung dienen oder ob diese auch, vielleicht zu einem späteren Zeitpunkt, an Dritte verkauft werden sollen. Bereits in die Planung einer Ölmühle sollte mit einfließen, welche Qualitätssicherungsmaßnahmen für die einzelnen Produkte erforderlich sind und welche Vorkehrungen hinsichtlich der Produkthaftungspflicht und Rückverfolgbarkeit getroffen werden müssen.

Bei der Planung einer Ölmühle ist es empfehlenswert, professionelle Hilfe hinzuzuziehen. Unterstützung bei der Planung wird sowohl von Ingenieurbüros als auch von Ölpresen- oder Filteranlagenherstellern angeboten. Aber auch Berufskollegen oder Verbände können wertvolle Tipps bei der Errichtung einer dezentralen Ölmühle geben. Nicht zu-

letzt stehen auch die Landwirtschaftsämter und Kammern beratend zur Seite.

4.1 Analyse der regionalen Märkte

Ein wesentliches Merkmal der dezentralen Ölgewinnung ist der Bezug der Ölsaat aus der Region und die Vermarktung von Öl und Presskuchen in der Region mit dem Ziel, Transportwege und somit -kosten einzusparen. Die Planung der Verarbeitungskapazität einer dezentralen Anlage richtet sich vor allem danach, ob ausschließlich eigene Saat verarbeitet werden soll, beziehungsweise wie viel Saat aus der Region zu günstigen Konditionen mit geringem Transportkostenaufschlag bezogen werden kann und welche Mengen der erzeugten Produkte wiederum regional vermarktet werden können. Außerdem sollte geklärt werden, ob die Saat auch in der erforderlichen Qualität zur Verfügung steht, denn in dezentralen Ölmühlen lässt sich ausschließlich ein sauberer, voll ausgereifter und hygienisch einwandfreier Rohstoff zu qualitativ hochwertigen Produkten weiter verarbeiten. Es ist durchaus bereits gängige Praxis, dass die Rohstoffversorgung auch für kleine Ölmühlen über Anbauverträge und Lagerungsverträge mit speziellen Vorgaben abgesichert wird. Sind bereits Ölmühlen in der Region in Produktion, sollte auch zuvor geprüft werden, ob eine Beteiligung an den bestehenden Anlagen nicht der Errichtung einer Neuanlage vorzuziehen ist oder ob eine Lohnverarbeitung eine wirtschaftlichere Alternative darstellt. Häufig ist in der Praxis das Nadelöhr einer dezentralen Ölmühle die Vermarktung des Presskuchens als Futtermittel. Deshalb sollte bei der Planung unbedingt analysiert werden, welche Abnehmer für Presskuchen dauerhaft in Frage kommen und welche Erlöse durchschnittlich erzielt werden können. Diesbezüglich kann es auch ratsam sein, vorab mit Unterstützung unabhängiger Fütterungsberater potenzielle Abnehmer über die Einsatzmög-

lichkeiten von Presskuchen zu informieren und somit den Markt vorzubereiten. Außerdem kann es hilfreich sein, vor dem geplanten Bau der Anlage mit dem Handel zugekauften Presskuchens zu beginnen, um auf diese Weise die Aufnahmefähigkeit des Markts zu testen. Landwirte treten dezentralen Ölmühlen gegenüber häufig als Rohstofflieferant und zugleich als Abnehmer von Rapsölkraftstoff und Presskuchen auf. Hier bieten sich dem Ölmühlenbetreiber sehr gute Möglichkeiten zum Beispiel über kleine finanzielle Anreize (Aufschlag beim Saatpreis), den Landwirt sowohl als Vorlieferanten als auch als Kunden langfristig zu binden. Schließlich ist zu prüfen, auf welche Weise die Rückstände der Öltreinigung, wie zum Beispiel Filterkuchen oder Sediment, vermarktet oder anderweitig verwertet werden können.

4.2 Abschätzung der Stoffströme

Als Ergebnis der Marktanalyse kann eine Abschätzung vorgenommen werden, welche Mengen an Öl und Presskuchen in der Region absetzbar sind. Aus den Mengen an Öl, beziehungsweise Presskuchen,

die vermarktet werden können, zuzüglich des Eigenbedarfs an Öl und Presskuchen, errechnet sich die Zielvorgabe für die jährliche Produktion der Ölmühle. Bei der Berechnung der notwendigen Verarbeitungskapazität der Ölmühle sollte mit mindestens 250 Produktionstagen pro Jahr kalkuliert werden. Als Faustformel gilt, dass in dezentralen Anlagen aus 1000 kg Rapssaat, mit einem durchschnittlichen Ölgehalt von 42 Masse-% und bei einem durchschnittlichen Abpressgrad von 80 %, ca. 340 kg Öl und 660 kg Presskuchen erzeugt werden können.

4.3 Anlagenkomponenten einer dezentralen Ölmühle

Eine dezentrale Ölmühle besteht im Wesentlichen aus folgenden Anlagenkomponenten: Saatlager, Saattördereinrichtung, Saatzwischenbehälter, falls erforderlich Saattvorwärmung, Schneckenpresse, Presskuchenlager, Truböltank, Apparate zur Hauptreinigung (Sedimentationsanlage oder Filter), Sicherheitsfilter, End- oder Feinfilter (Polizeifilter) und Reinöltank. Abbildung 6 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung einer dezentralen Ölmühle.

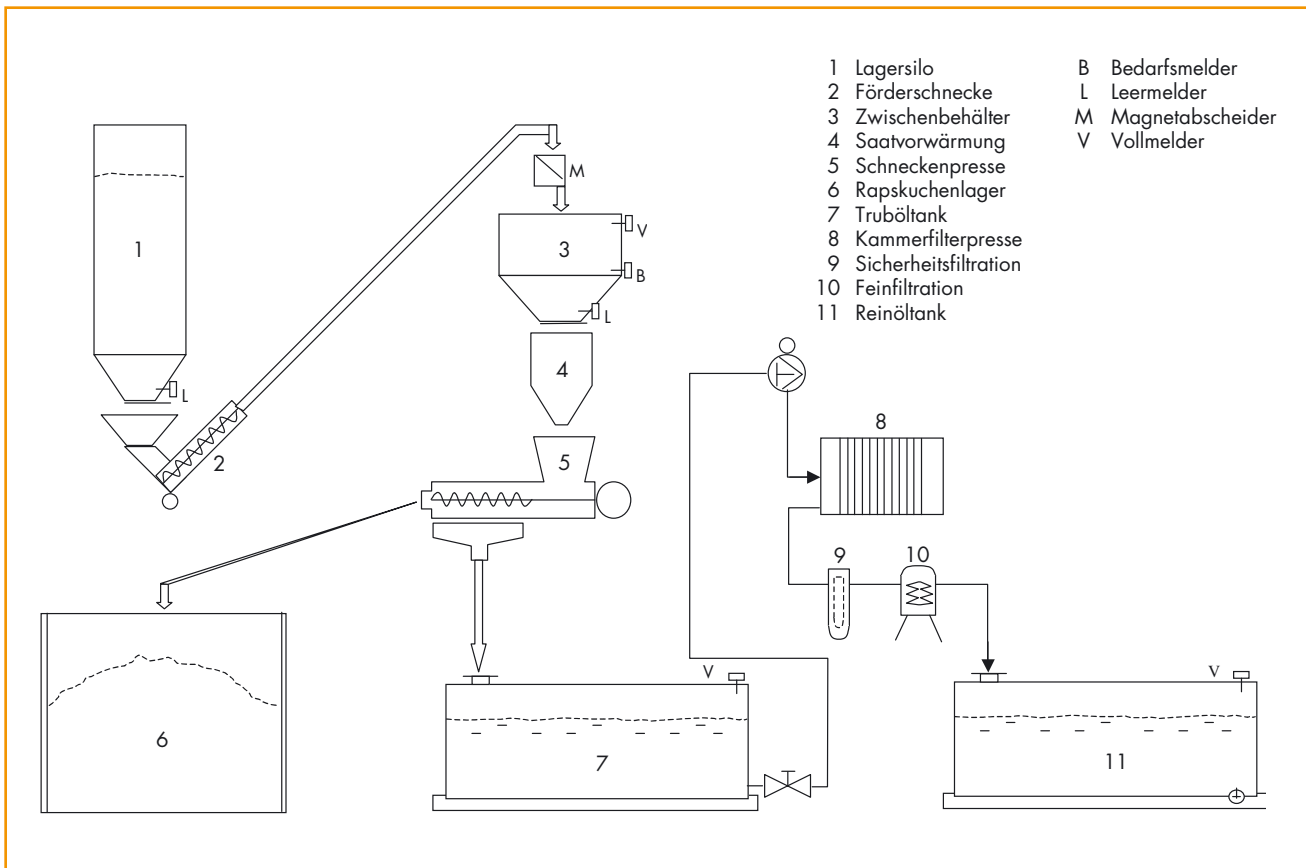


Abb. 6: Vereinfachte schematische Darstellung einer dezentralen Ölmühle
(Quelle: MEYER, M. und M. STETTLER (2006), SHL Zollikofen, Schweiz)

4.3.1 Saatlager und Saattförder- einrichtungen

Das Saatlager muss so beschaffen sein, dass über Monate hinweg eine Qualitätsbeeinträchtigung der Ölsaat verhindert wird. Dabei müssen unerwünschte mikrobielle Vorgänge sowie die Atmung der Saat minimiert und der Eintrag von Fremdstoffen in das Lagergut ausgeschlossen werden. Zudem muss das Lager vor dem Eindringen von Schädlingen wie Vögel, Mäuse und Ratten geschützt werden. Voraussetzung hierzu ist die Einlagerung einer gesunden Saat, die frei von Besatz ist und eine geringe Saatteuchte aufweist, siehe hierzu auch Kapitel 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 und 5.6. Als Lagerbehälter eignen sich Flach- und Hochlagerzellen in Hallen sowie abgedeckte Außensilos. Die Oberflächen und Böden der Lagerbehälter müssen möglichst glatt und hygienisch einwandfrei sein, Ritzen sind zu vermeiden. Dadurch wird eine einfache effiziente Reinigung der Lagerbehälter ermöglicht. Der Boden von erdnahen Lagerbehältern muss, damit ein Feuchteübergang vermieden wird, isoliert sein. Außerdem sind Belüftungskanäle vorzusehen. Es ist zu beachten, dass bei großen Flachlagerzellen eine Chargentrennung oft nur schwer möglich ist. Auch hinsichtlich der Überwachung des Lagermanagements und der Hygiene sind Hochlagerzellen oft vorteilhaft. Silolagerzellen mit planebenem Boden werden in der Regel mit Schnecken entleert. Freie Trichterausläufe an Behäl-

tern ermöglichen eine sehr einfache Entnahme. Risikofaktoren bei der Lagerung von Raps, die zu Qualitätseinbußen führen können, sind in Tabelle 4 aufgeführt [22].

Die Kühlung der Ölsaat kann über die Lagerbelüftung mit kalter Nachtluft erfolgen, häufig ist dies jedoch nicht ausreichend, so dass ein Kühlaggregat zum Wärmeentzug eingesetzt werden muss. Fest eingebaute Temperaturfühler mit entsprechender elektronischer Datenüberwachung erleichtern die Temperaturüberwachung im Lager [47] [25]. Bei den Saattförderanlagen ist darauf zu achten, dass die Saat vor allem bei der Einlagerung nicht beschädigt wird. Für die exakte Mengenerfassung und Durchsatzbestimmung der Ölpresse ist es vorteilhaft, eine Durchlaufwaage einzubauen.

4.3.2 Saatzwischenbehälter und Saattvorwärmung

Der Saatzwischenbehälter sollte zumindest die Menge Rapsaat aufnehmen können, die pro Tag verarbeitet wird. Der Zwischenbehälter dient dazu, die kontinuierliche Versorgung der Ölpresse mit Ölsaat zu gewährleisten. Außerdem ermöglicht der Zwischenbehälter vor allem in den Wintermonaten eine Angleichung der Saattemperatur an die Pressenraumtemperatur. Dadurch lässt sich Kondensation der Luftfeuchte im warmen Pressenraum an der kal-

Tabelle 4: Risikofaktoren bei der Lagerung von Raps, die zu Qualitätseinbußen führen können (verändert nach BOMBIEN, M. (2007) [22])

Ursache	Flachlager	Rundsilos außen	Rundsilos innen
Schmutz von Radladerreifen	✓		
Abgase Radlader	✓		
Ölverluste Radlader	✓		
Abrieb Fußboden	✓	(✓)	(✓)
Abrieb Fördergeräte	✓	✓	✓
Wirbeltiere im Lager (Mäuse, Vögel...)	✓	(✓)	(✓)
Kot von Wildtieren (Kaninchen...)	✓	✓	✓
Insekten im Lager (Käfer, Milben...)	✓	✓	✓
Mykotoxine	✓	✓	✓
Schnee, Nebel	✓	✓	✓
Regenwasser	(✓)	(✓)	(✓)
Kondenswasser an der Außenhaut	✓	✓	✓
Aufsteigendes Bodenwasser	✓	✓	✓
Staubablagerungen (Lüftungskanäle...)	✓	(✓)	✓
Baumaterial Abrieb	✓	(✓)	(✓)
Mitarbeitererkrankungen	✓	✓	✓

ten Saat vermeiden. Eine Saatvorwärmung ist dann oftmals nicht mehr erforderlich. Die Nutzung der Abwärme der Ölpressen zur direkten Saatvorwärmung zum Beispiel mit einem Gebläse ist nicht empfehlenswert, da bei der Ölpressung Wasserdampf an die Umgebungsluft abgegeben wird und dieser an der (kalten) Saat kondensieren kann. Die Saatzuführung zur Ölpresse sollte mit einer entsprechenden Dosiereinrichtung ausgestattet sein, um die der Ölpressen zugeführte Saatmenge regulieren zu können. Ein Quetschen oder Brechen der Rapssaat mit einem Walzenstuhl vor der Zuführung zur Ölpressen ist in der Regel nicht sinnvoll, da dadurch weder die Ausbeute erhöht noch in der Summe Energie bei der Verarbeitung eingespart wird. Eine Saatschälung ist nur für die Erzeugung von Speiseölspezialitäten in Einzelfällen empfehlenswert.

Zum Schutz der Ölpressen vor unnötigem Verschleiß und größeren Schäden an den Presswerkzeugen sollte die Saatzuführung mit einem Magnetabscheider ausgestattet werden. Mit diesem können zumindest ferromagnetische Störstoffe aus der Saat entfernt werden.

4.3.3 Schneckenpresse

Schneckenpressen für die Verarbeitung von Ölsaaten lassen sich nach verschiedenen Bauformen unterscheiden. Wesentliche Unterschiede liegen in der Gestaltung des Seiher, in dem sich die Schnecke dreht. Bei den Lochseiher-Schneckenpressen, wie in Abbildung 7 gezeigt, ist der Presszylinder durch kreisrunde Bohrungen perforiert. Am Presskopf befindet sich eine Pressdüse, die die zylindrische Form des

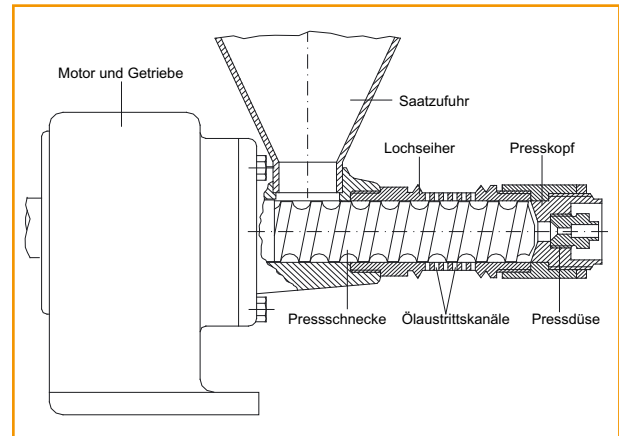


Abb. 7: Lochseiher-Schneckenpresse

Presskuchens (Pellets) bestimmt. Seiherstab-Schneckenpressen, wie in Abbildung 8 dargestellt, sowie Seiherstabschneckenpressen haben Seiherstäbe beziehungsweise -scheiben, die in definierten Abständen parallel zueinander angeordnet sind. Der Ölaustritt erfolgt über die Spalten zwischen den Seiherstäben, beziehungsweise -scheiben. Der Presskuchen wird am Ende der Pressschnecke in Form kleiner Plättchen oder, falls eine Pelletiereinrichtungen vorhanden ist, als Pellet ausgetragen. Im kleineren Leistungsbereich mit einer Durchsatzleistung bis etwa 75 kg Rapssaat pro Stunde kommen überwiegend Lochseiher-Schneckenpressen zum Einsatz. Im größeren Leistungsbereich bis zu 3.000 kg Rapssaat pro Stunde werden vor allem Seiherstab-Schneckenpressen verwendet.

Abbildung 9 zeigt den Aufbau der Schneckenwelle einer Schneckenpresse [74]. Entscheidend für den Pressvorgang ist der Wechsel zwischen Kompression (Verdichtung) und Relaxation (Entspan-

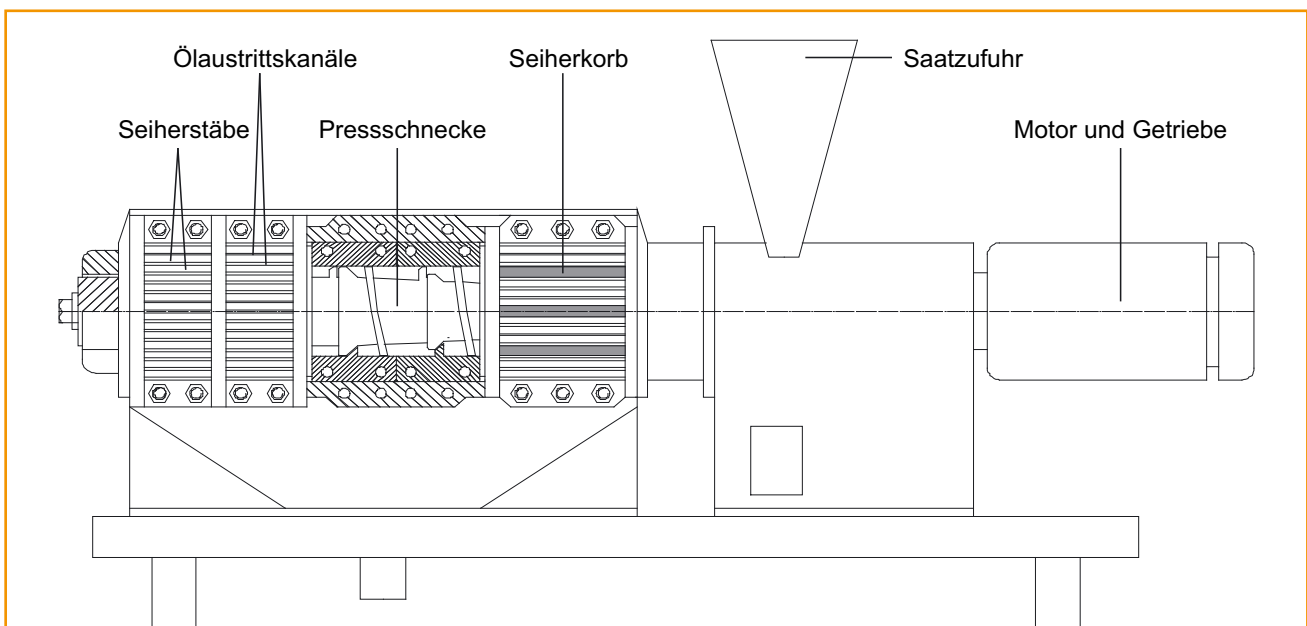


Abb. 8: Seiherstab-Schneckenpresse



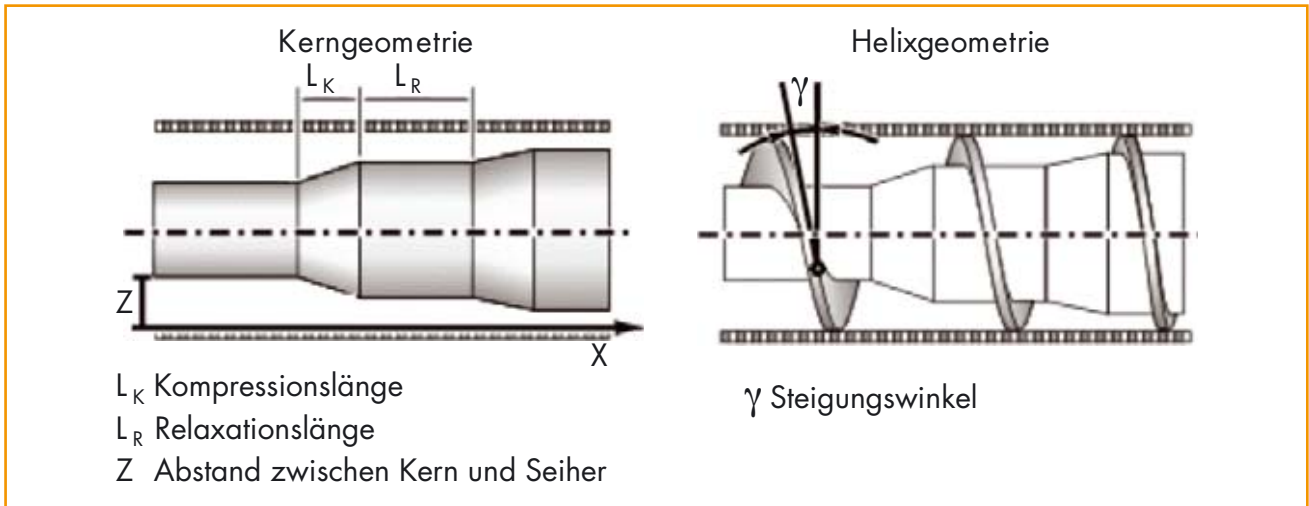


Abb. 9: Geometrie der Schneckenwelle einer Schneckenpresse – links: Geometrie des Kerns, rechts: Geometrie der Helix (nach SCHEIN, C. (2003) [74])

nung) des Komprimats (Pressgut). Dabei muss verhindert werden, dass sich das Pressgut mit der Schnecke mitdreht. Deshalb muss die Reibungskraft zwischen dem Pressgut und dem Seiher größer sein als zwischen dem Presskuchen und der Schnecke. Dies wird zum Beispiel durch Abstreifer am Seiher oder „auf Keil“ gestellte Seiherstäbe erreicht. Die Relaxation des Pressguts fördert den Ölabbfluss aus dem Pressgut hin zum Seiher. Die Stoffflüsse bei der Ölpressung sind in Abbildung 10 dargestellt [74]. Über die Länge des Seiherkorbs erfolgt der Ölaustritt in unterschiedlicher Intensität. Ein Teil der in der Saat

enthaltenen Feuchte entweicht als Wasserdampf bei der Ölpressung [63] [74] [76].

Schneckenpressen zur Ölgewinnung werden in Deutschland derzeit von 14 Firmen angeboten. Eine Übersicht über die angebotenen Pressentypen der verschiedenen Hersteller mit den jeweiligen Verarbeitungskapazitäten zeigt Tabelle 5.

Über die Qualität von Ölpressen verschiedener Hersteller, den erzielbaren Abpressgrad sowie deren besondere Eignung für die Herstellung von Rapsölkraftstoff wurden bisher keine vergleichenden Untersuchungen durchgeführt. Hierzu können deshalb

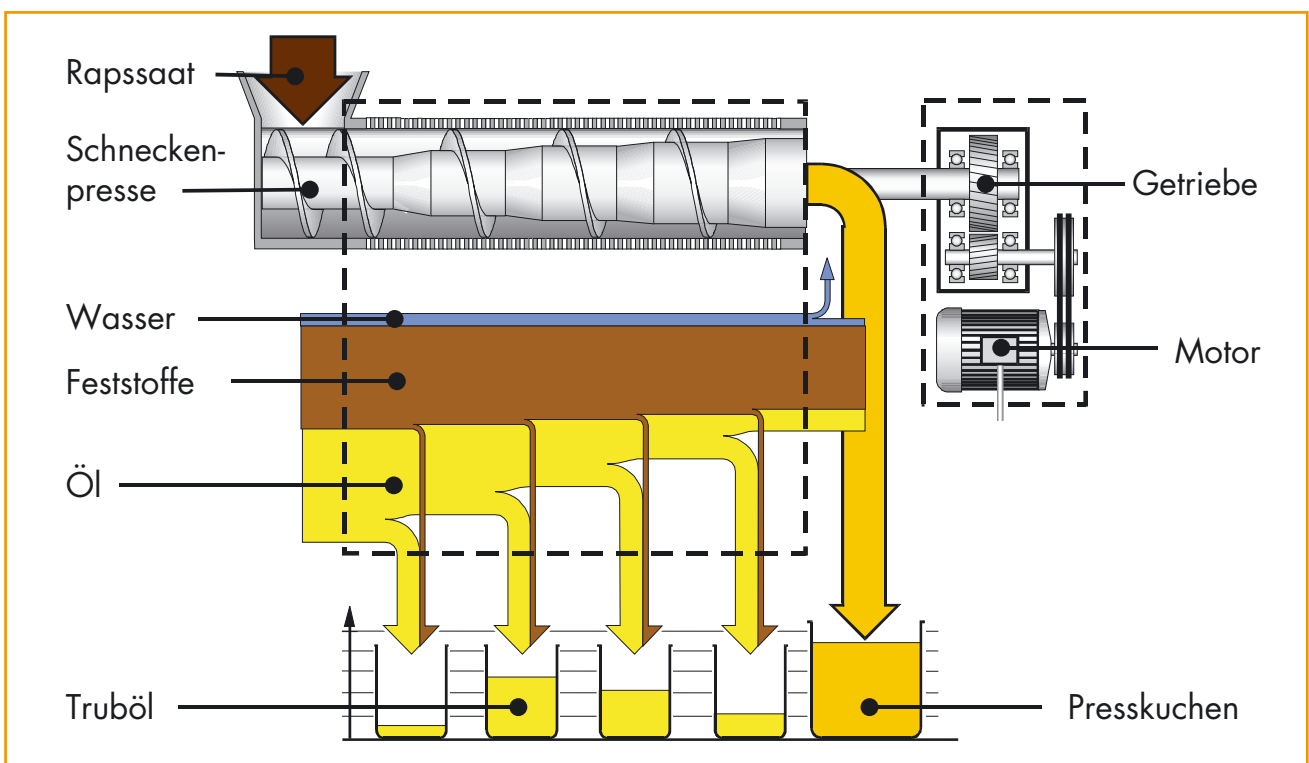


Abb. 10: Stoffflüsse bei der Ölpressung (verändert nach SCHEIN, C. (2003) [74])

keine Aussagen getroffen werden. Tendenziell lassen sich jedoch mit Ölpresen, die mit (kurzem) Lochseiherausgestattet sind, geringere Phosphor-, Calcium- und Magnesiumgehalte erzielen als mit Pressen,

die mit (langem) Seiherskorb ausgeführt sind. Die Ursache für diese Beobachtung liegt möglicherweise in den unterschiedlichen Verweilzeiten des Pressgutes und des Öls an heißen Pressenbauteilen.


Tabelle 5: Hersteller von Ölpresen, Verarbeitungskapazität und Bauform der Ölpresen

Verarbeitungskapazität	Firma	Typ	Bauform
bis 50 kg/h	Anton Fries Maschinenbau GmbH	500 R	Lochseiheraus
	Distler Metallbau GmbH	P50	Seihersstab
	Egon Keller GmbH & Co. KG	P0020	Seihersstab
	Farmet a. s.	UNO	Lochseiheraus
		DUO	Lochseiheraus
	IBG Monforts GmbH & Co. KG – OEKOTEC	CA59G	Lochseiheraus
		D851G	Lochseiheraus
		DD85G	Lochseiheraus
	Import – ERHARD GmbH	k. A.	Lochseiheraus
		R300F	Lochseiheraus
	Mayerhofer Maschinenbau	R600F	Lochseiheraus
		Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG	AP 08	Lochseiheraus
	Michael Mailler Ölpresstechnik	MLP 5	Lochseiheraus
	Karl Strähle GmbH & Co. KG	SK60/1	Seihersscheiben
SK60/2		Seihersscheiben	
KK 8		Lochseiheraus	
Screw-press GmbH KernKraft – Moosbauer & Rieglsperger	KK 20	Lochseiheraus	
	KK 40	Lochseiheraus	
	Egon Keller GmbH & Co. KG	P0101	Seihersstab
51 – 100 kg/h	IBG Monforts GmbH & Co. KG – OEKOTEC –	S120F	Lochseiheraus
	Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG	AP 10/06	Seihersstab
101 – 500 kg/h	CIMBRIA SKET GmbH	KP 15	Seihersstab
	Egon Keller GmbH & Co. KG	P0500	Seihersstab
	Farmet a. s.	L 200	k. A.
	Import – ERHARD GmbH	k. A.	Seihersscheiben
		SK130/3	Seihersstab
	Karl Strähle GmbH & Co. KG	SK190/1	Seihersstab
		SK250/1	Seihersstab
		AP 12	Seihersstab
	Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG	AP 14/22	Seihersstab
		AP 14/30	Seihersstab
Screw-press GmbH KernKraft – Moosbauer & Rieglsperger		KK 140 F KK 500 F*	Seihersstab Seihersstab
über 500 kg/h	CIMBRIA SKET GmbH	KP 21	Seihersstab
		KP 26	Seihersstab
	Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH	EP 08	Seihersstab
		EP 16	Seihersstab
	Farmet a. s.	S 1000	k. A.
		S 2000	k. A.
	Import – ERHARD GmbH	k. A.	Seihersstab
	Karl Strähle GmbH & Co. KG	SK300/1	Seihersstab
	Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG	AP 15/45	Seihersstab
		AP 15/55	Seihersstab
AP 25		Seihersstab	
Screw-press GmbH KernKraft – Moosbauer & Rieglsperger	KK 1000 F*	Seihersstab	

* in Entwicklung

k.A. = keine Angabe





Bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung herrscht ein Zielkonflikt zwischen möglichst hohen Abpressgraden und der Minimierung des Übergangs unerwünschter Fettbegleitstoffe in das Öl, siehe hierzu auch Kapitel 5.9, S. 38. Deshalb sollte bei der Auswahl der Ölpresse darauf geachtet werden, dass die Drehzahl der Schnecke reguliert und auf möglichst einfache Weise auf die Druckverhältnisse in der Presse Einfluss genommen werden kann. Sollen mit einer Ölpresse abwechselnd unterschiedliche Ölsaaten verarbeitet werden, sind Lochseih-Schneckenpressen den Seihstab-Schneckenpressen vorzuziehen, da durch den unkomplizierten Wechsel der Pressdüse die Ölpresse sehr schnell für die Verarbeitung unterschiedlicher Korngrößen angepasst werden kann. Von einigen Ölpressenherstellern wird eine nachgeschaltete Entölung des Presskuchens aus der ersten Pressung (Zweitpressung) empfohlen. Der Vorteil liegt darin, dass Presskuchen mit geringem Restfettgehalt in größeren Anteilen in der Futterration eingesetzt werden kann und insgesamt die Ölausbeute erhöht wird. Es ist jedoch zu beachten, dass die bei der zweiten Pressung anfallenden Ölqualitäten in der Regel nicht die Anforderungen für die Verwendung als Kraftstoff erfüllen.

Eine grundsätzliche Entscheidung bei der Planung der Ölmühle ist zu treffen, ob die geplante Verarbeitungskapazität der Ölmühle durch eine Ölpresse oder durch mehrere Ölpressen abgedeckt werden soll. Wird die Verarbeitungskapazität auf mehrere Ölpressen aufgeteilt, so kann flexibler auf Nachfrageschwankungen reagiert werden und bei durchzuführenden Wartungsarbeiten kann die Produktion wenigstens zum Teil aufrecht erhalten werden, so dass eine kontinuierliche Bedienung der Märkte gewährleistet ist. Nachteilig hingegen sind die zum Teil höheren Investitionskosten und Mehrkosten bei der Wartung und Instandhaltung.

4.3.4 Trübölbehälter

Das Öl, das aus der Ölpresse austritt und noch mit Partikeln verunreinigt ist, wird in einem Trübölbehälter gesammelt. Der Trüböltank sollte als Richtwert das Volumen Öl aufnehmen können, das in der Ölmühle in drei Tagen produziert wird. Dadurch wird genügend zeitlicher Puffer geschaffen, um an der Filtrationsanlage Wartungsarbeiten durchführen oder aber auch das Wochenende überbrücken zu können, ohne die Ölpresse abstellen zu müssen. Der Trübölbehälter muss mit einem Rührwerk ausgestattet sein, damit die Partikel im Öl für die nachfolgende Filtration in Schwebe gehalten werden können. Das Rühr-

werk sollte so gestaltet sein und betrieben werden, dass das Öl mit möglichst wenig Luftsauerstoff in Kontakt kommt. Der Trüböltank sollte möglichst geschlossen sein, so dass eine Fremdverunreinigung vermieden wird. Es ist außerdem darauf zu achten, dass sich im Trübölbehälter kein Kondenswasser bildet. Trübölbehälter sind auf jeden Fall durch einen Füllstandsmelder gegen Überlaufen zu sichern. Für die nachfolgende Filtration kann es hilfreich sein, wenn das Öl mit einer höheren Temperatur als die Umgebungstemperatur, und damit vergleichsweise geringerer Viskosität, gefiltert wird. Deshalb ist es im Einzelfall sinnvoll, den Trübölbehälter zu isolieren, damit die Öltemperatur nach der Pressung bis zum Zeitpunkt der Filtration nicht zu sehr absinkt. Eine durch längerfristige Lagerung bei höheren Temperaturen beschleunigte Oxidation des Öls muss jedoch vermieden werden. Soll das Öl durch Sedimentation gereinigt werden, kann auf einen Trübölbehälter verzichtet werden. Das Öl wird in diesem Falle direkt von der Presse in das Sedimentationsystem geleitet.

4.3.5 Fest/Flüssig-Trennung

Die Fest/Flüssig-Trennung steht am Ende der Verfahrenskette bei der dezentralen Pflanzenölgewinnung und nimmt deshalb entscheidenden Einfluss auf die Produktqualität. Unter Fest/Flüssig-Trennung ist hierbei die Entfernung von festen Verunreinigungen (hauptsächlich Samenbestandteile) aus dem Öl zu verstehen („Ölreinigung“).

Samenbestandteile enthalten Enzyme, die bei der Keimung von Ölsaaten den Abbau der Triglyceride (chemischer Grundbaustein von pflanzlichen und tierischen Fetten, siehe hierzu auch Kapitel 7.1, S. 51) ermöglichen. Ein hoher Anteil Samenbestandteile in Pflanzenölen birgt deshalb die Gefahr einer vorzeitigen Ölalterung. In technischen Verwendungsbereichen können Verunreinigungen im Öl außerdem zu Filterverstopfungen oder zu abrasivem Verschleiß an Werkstoffen führen.

Ausgangspunkt für die Auswahl und die Auslegung von Verfahren zur Fest/Flüssig-Trennung sind die Eigenschaften des Trüböls.

4.3.5.1 Eigenschaften des Trüböls

Pflanzenöl, das direkt nach der Ölpressung ohne weiteren Verarbeitungsschritt vorliegt, wird als Trüböl bezeichnet, zum Teil auch als Rohöl. Der Begriff Trüböl ist auch weitergefasst für das Input-Öl in einem Reinigungsverfahren gebräuchlich, so dass ein Öl,

das bereits ein Reinigungsverfahren durchlaufen hat, als Zwischenqualität vor der Sicherheitsfiltration ebenfalls als Trüböl bezeichnet wird.

Trüböl ist ein zweiphasiges Stoffgemisch aus einer flüssigen Phase (Öl) und einer festen Phase (Partikel). Weder der festen noch der flüssigen Phase sind selten auftretende sogenannte Trübungsstoffe eindeutig zuzuordnen. Eine Möglichkeit der Charakterisierung von Trüböl zeigt Abbildung 11.

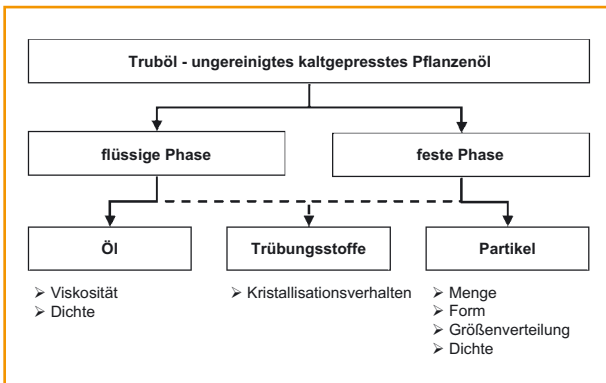


Abb. 11: Charakterisierung von Trüböl

Für die Fest/Flüssig-Trennung wichtige physikalische Kenngrößen der flüssigen Phase sind die kinematische Viskosität und die Dichte. Das Viskositätstemperaturverhalten von kaltgepresstem Rapsöl ist in Abbildung 12 dargestellt, die zugehörigen Analysenwerte zeigt Tabelle 6. Die Dichte (DIN EN ISO 3675) von Rapsöl, gemessen bei 15 °C, beträgt im Durchschnitt 920,0 kg/m³ [65].

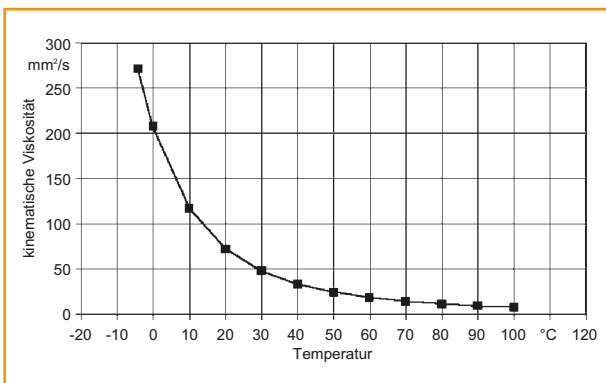


Abb. 12: Viskositäts-/Temperaturverhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [83]

Tabelle 6: Viskositäts-/Temperaturverhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [83]

Temperatur	° C	- 4,2	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Viskosität	mm ² /s	271,5	207,5	117,1	72,3	47,9	32,9	24,0	17,9	13,9	11,1	9,1	7,7

Die feste Phase (im Öl suspendierte Partikel) lässt sich durch ihre Menge, Form, Größenverteilung und Dichte beschreiben. Vor allem die Partikelkonzentration muss bei der Auslegung von Sedimentations- und Filtrationssystemen berücksichtigt werden.

Die Partikelmenge wird zumeist als Massenkonzentration angegeben, wobei unterschieden werden muss, ob die Partikelmenge ölfrei oder ölhaltig bestimmt wurde. In der Literatur sind Angaben zur Feststoffmenge von 1–13 Gew.-% (ölhaltig) im Trüböl direkt nach der Pressung zu finden [84]. Als Ergebnis von Untersuchungen an einer Ölpressen Komet Doppelspindelpresse DD 85 G des Herstellers IBG Monforts Oekotec wird ein Minimum an Feststoffgehalt (ölhaltig) von 1,0 Gew.-% und ein Maximum von 14,8 Gew.-% ermittelt [84]. Ein typischer Feststoffgehalt liegt bei etwa 2,3 Gew.-%. Die Bestimmung der ölhaltigen Feststoff-Massenkonzentration erfolgte in Anlehnung an DIN ISO 3734. Presskopftemperatur, Düsendurchmesser und Drehzahl der Pressschnecke sowie Saatfeuchte und Saatterperatur nehmen bei dem genannten Pressentyp Einfluss auf den Feststoffgehalt. Ein geringer Feststoffgehalt wird durch niedrige Drehzahl, kleinen Düsendurchmesser und hohe Presskopftemperatur sowie durch zunehmende Saatfeuchte und Saatterperatur erreicht.

Bei weiteren Untersuchungen mit einer Ölpressen Komet DD 85 G des Herstellers IBG Monforts Oekotec variiert die Gesamtverschmutzung (ölfrei) nach DIN EN 12662 im Trüböl in Abhängigkeit der Rapsaatqualität zwischen ca. 7 und 25 g/kg. Unterschiedliche Pressparameter (Verschleiß der Pressgarnitur, Presskopftemperatur, Pressdüsendurchmesser, Schneckendrehzahl und Schneckenbeladung) hatten eine Variation der Gesamtverschmutzung zwischen ca. 7 und 44 g/kg zur Folge. Der Verschleiß der Pressgarnitur zeigte dabei den stärksten Einfluss [66].

In einem Ringversuch mit einer einheitlichen Rapscharge an 22 dezentralen Ölgewinnungsanlagen wurden die in Abbildung 13 dargestellten ölfreien Feststoffgehalte (Gesamtverschmutzung in Anlehnung an DIN 51419-A) in Abhängigkeit des Pressentyps ermittelt [86]. Die Ergebnisse zeigen deutlich die hohe Variabilität der Gesamtverschmutzung in Trübölen nach der Pressung. Die Partikelmenge im Trüböl ist beeinflusst durch die eingesetzte Ölgewinnungstechnik (zum Beispiel Lochzylinder-Schneckenpressen, Seiherstab-Schneckenpressen) sowie die Prozessparameter beim Pressen des Öls.



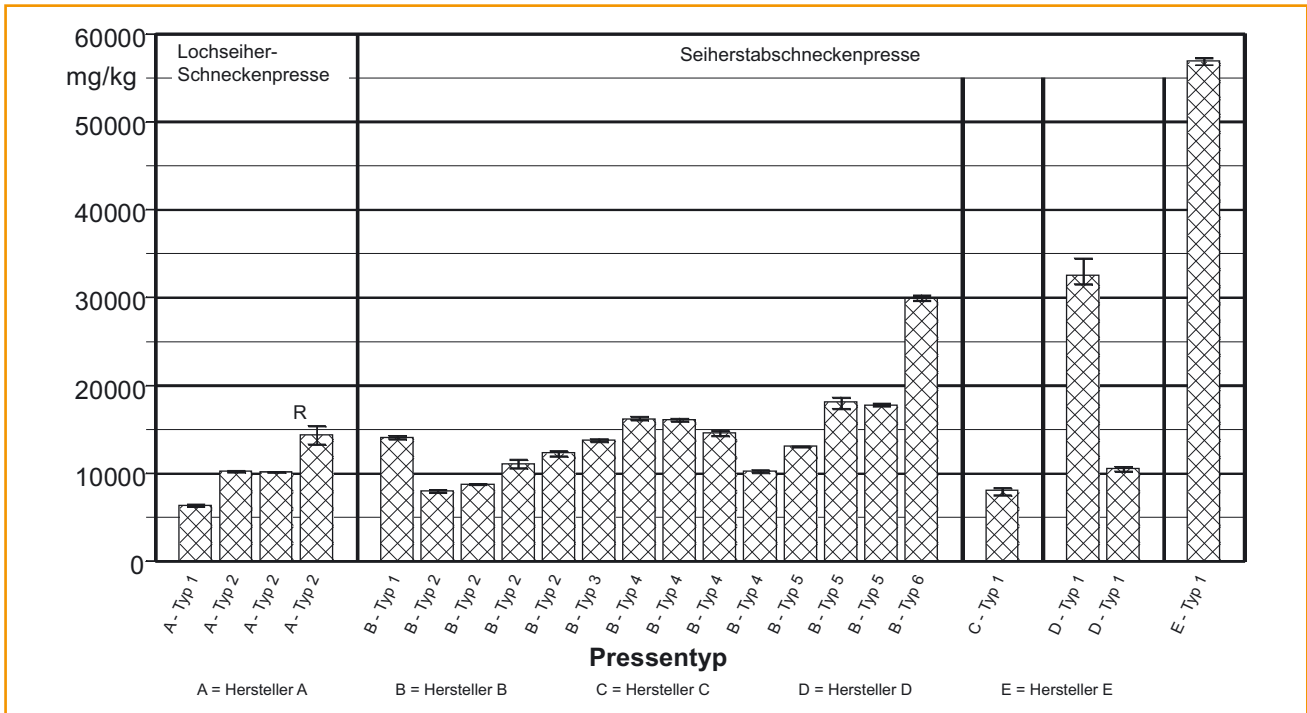


Abb. 13: Gesamtverschmutzung (in Anlehnung an DIN 51419-A) im ungereinigten Öl in Abhängigkeit vom Pressentyp [86]

Untersuchungen der Dichte von Rapsamenbestandteilen im Pyknometer mit Xylol erbrachten folgende Unterschiede: Die Dichte von Rapskernfleisch beträgt 1,1062 g/cm³, die Dichte von Raps-Samenschalen beträgt 1,3558 g/cm³. Partikel im Trüböl können jedoch auch von Fremdbesatz in der Saat und möglicherweise aus metallischem Abrieb stammen und weisen deshalb davon abweichende Dichten auf.

Neben „festen“ Verunreinigungen können in Ölen, zum Teil erst nach längerer Lagerzeit, Trübungsstoffe sichtbar werden. Bei den Trübungsstoffen handelt es sich zum Beispiel um höher schmelzende Glyceride, Beimengungen von Wachsen oder nachträglich ausgeschiedene Schleimstoffmengen. Bei längerer Lagerung können sich die Trübungsstoffe absetzen und bilden einen weißlichen Bodenbelag [55].

Für die Abscheidung der festen Phase (Partikel) von der flüssigen Phase (Öl) sind in der dezentralen Ölsaatenverarbeitung unterschiedliche Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung gebräuchlich.

4.3.5.2 Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung

An Trennverfahren für die Abscheidung von Verunreinigungen aus kaltgepressten Pflanzenölen sind folgende Anforderungen zu stellen:

- Der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung von maximal 24 mg/kg in Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 muss deutlich unter-

schrritten werden können. Ziel ist eine Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff zumindest unter 16 mg/kg, siehe hierzu auch Kapitel 6, S. 45.

- Der Ölgehalt der abgetrennten Festphase soll möglichst gering sein.
- Die Durchsatzleistung des Trennverfahrens muss auf die Verarbeitungskapazität der Ölgewinnungsanlage abgestimmt sein.
- Eine Automatisierung des Reinigungsverfahrens soll möglich sein.
- Ein kontinuierliches Verfahren ist wünschenswert um Zwischenlagerkapazität einzusparen.
- Die Kosten für Anschaffung und Wartung sollen gering sein.

Die Eigenschaften der zu reinigenden Ölsuspension und die Ansprüche an die Effektivität des Verfahrens der Fest/Flüssig-Trennung bestimmen die Auswahl des Trennverfahrens.

Die Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung, die bei der Reinigung von Pflanzenölen eingesetzt werden, lassen sich in Sedimentations- und Filtrationsverfahren unterteilen [66] [69]. In dezentralen Ölgewinnungsanlagen sollte die Abscheidung der festen Rückstände im Öl zumindest in zwei Stufen, zuerst als Hauptreinigung (Grobklärung) und anschließend als Sicherheitsfiltration (Endfiltration) erfolgen. Bei der Hauptreinigung sollen die Feststoffe bereits möglichst vollständig aus der flüssigen Phase entfernt werden. Die Sicherheitsfiltration hat die Aufgabe, Störungen bei der Hauptreinigung anzuzeigen und

die angestrebte Reinheit der Charge sicherzustellen. Die Verfahren bei der Hauptreinigung sind Sedimentation oder Filtration, in seltenen Fällen auch Zentrifugation. Sedimentationsverfahren werden aufgrund des hohen Raumbedarfs nur bei Ölpresen mit Verarbeitungskapazitäten bis ca. 50 kg Ölsaats/h eingesetzt. Bei der Sicherheitsfiltration werden ausschließlich Filtrationsverfahren eingesetzt. Abbildung 14 zeigt die Systematik der Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung und nennt Apparatebeispiele.

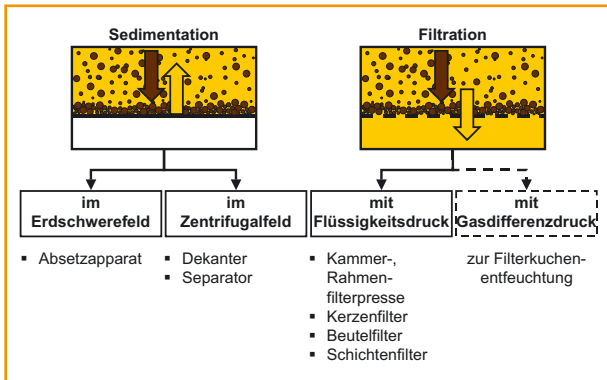


Abb. 14: Verfahren und Apparate-Beispiele für die Fest/Flüssig-Trennung bei Pflanzenölen

4.3.5.2.1 Sedimentation

Sedimentationsverfahren nutzen für die Fest/Flüssig-Trennung den Dichteunterschied zwischen der Flüssigkeit und den Feststoffen. Das Sedimentationsverhalten wird unter anderem beeinflusst durch die Dichtedifferenz, die Partikelgröße und -form, die Viskosität der Flüssigkeit und die Wechselwirkungen zwischen Partikeln und flüssiger Phase. Dabei kann zwischen einer Sedimentation im Erdschwerefeld und einer Sedimentation im Zentrifugalfeld unterschieden werden.

Sedimentation im Erdschwerefeld

Bei dezentralen Ölsaatenverarbeitungsanlagen mit geringer Verarbeitungskapazität wird das Öl häufig durch eine Sedimentation im Erdschwerefeld gereinigt. Es werden diskontinuierliche (Batch-Verfahren) und kontinuierliche Sedimentationsverfahren unterschieden.

Bei der diskontinuierlichen Sedimentation werden einzelne Behälter mit zumeist mehreren hundert Litern Fassungsvermögen mit Trüböl befüllt und die Partikel sedimentieren oft über einen Zeitraum von mehreren Wochen. Die geklärte Flüssigkeit wird häufig durch sogenannte Schwimmabsaugung wenige Zentimeter unter dem Flüssigkeitsspiegel entnommen, um Partikel mit geringerer Dichte als die der

Flüssigkeit nicht mit zu entfernen. Die Entnahme des Sediments erfolgt manuell. Vor allem die Entfernung des Sediments bei Batch-Verfahren und die Reinigung der Sedimentationsbehälter sind arbeitsintensiv. Abbildung 15 zeigt schematisch das Verfahren der diskontinuierlichen Sedimentation.

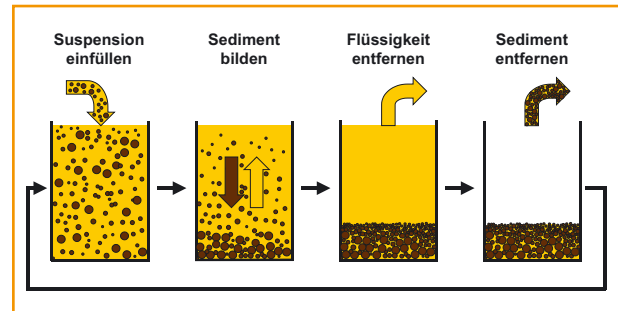


Abb. 15: Prinzip der diskontinuierlichen Sedimentation im Erdschwerefeld (nach ANLAUF, H. (1991) [1])

Bei der kontinuierlichen Sedimentation erfolgen die Zugabe der Suspension, die Entnahme der geklärten Flüssigkeit und die Entfernung der aufkonzentrierten Feststoffe zeitgleich. Für die kontinuierliche Sedimentation von Pflanzenölen wurde am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) ein vierstufiges Absetzverfahren entwickelt [66]. Abbildung 16 zeigt eine schematische Darstellung des Sedimentationssystems.

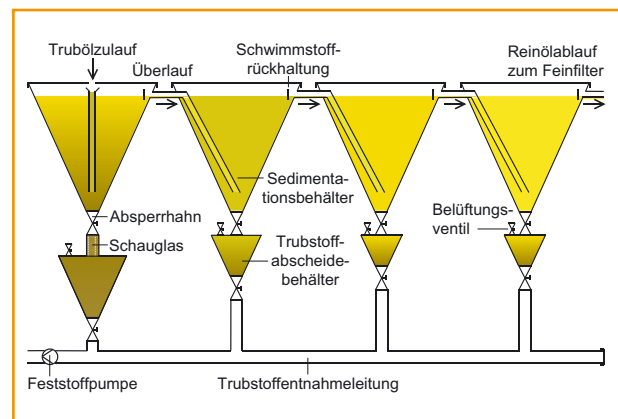


Abb. 16: Kontinuierliches vierstufiges Sedimentationssystem für Pflanzenöle

Hierbei durchströmt das Trüböl vier Absetzbehälter, die über Rohrverbindungen miteinander kommunizieren. Der zweite, dritte und vierte Absetzbehälter wird jeweils vom Überlauf aus dem vorigen Behälter im unteren Bereich befüllt. Das Sedimentationssystem sollte in Abhängigkeit der Verarbeitungskapazität der Ölpresse hinsichtlich seines Behältervolumens auf eine Ölverweilzeit von etwa vier Tagen ausgelegt sein. Ist das Sedimentationssystem nach der Startphase gefüllt, tritt das Ölvolumen, das



der von der Presse zugeführten Menge Trüböl entspricht, in weitgehend gereinigter Qualität aus dem vierten Absetztank aus. Da dieses Öl noch einen relativ hohen Anteil Partikel (bis zu 250 mg/kg Gesamtverschmutzung) enthält, der durch die kontinuierliche Strömung im System nicht abgeschieden wird, müssen ein oder mehrere Filter mit definierter Porengröße (in der Regel etwa 1 µm) und ausreichendem Schmutzaufnahmevermögen, die die gewünschte Reinheit sicherstellen, nachgeschaltet werden. Die sedimentierten Trübstoffe sammeln sich in den Abscheidebehältern an und können von dort mit Hilfe einer für höherviskose Schlämme geeigneten Pumpe oder mit Hilfe von Druckluft entnommen werden. Während der Trübstoffentnahme werden die Absetztanks über Absperrventile von den Trübstoffabscheidetrichtern getrennt.

Sedimentation im Zentrifugalfeld

Durch die auf die Partikel wirkende Zentrifugalkraft erhöht sich die Sinkgeschwindigkeit und damit verkürzt sich die Sedimentationsdauer. Eingesetzt werden Dekanter oder Separatoren; meist kommen sie jedoch in Kombination zum Einsatz. Die Auswahl der Apparate, die sowohl diskontinuierlich als auch kontinuierlich betrieben werden können, erfolgt in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt und den Partikelgrößen. Abbildung 17 zeigt schematisch die Verfahren der Sedimentation im Zentrifugalfeld. Die Sedimentation im Zentrifugalfeld ist bei dezentralen Ölgewinnungsanlagen aufgrund der meist hohen Investitionskosten wenig verbreitet.

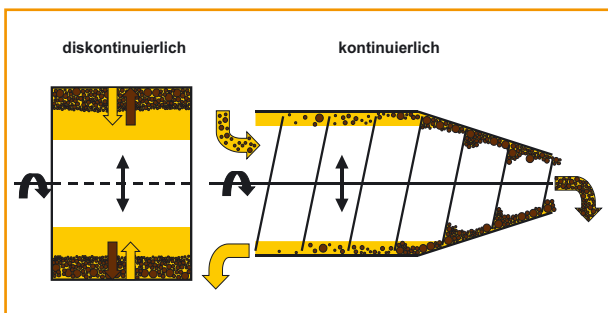


Abb. 17: Prinzip der diskontinuierlichen und kontinuierlichen Sedimentation im Zentrifugalfeld (nach ANLAUF, H. (1991) [1])

4.3.5.2.2 Filtration

Nach der Art der Feststoffabscheidung lassen sich Filtrationsverfahren in kuchenbildende Filtration, Querstromfiltration und Tiefenfiltration einteilen [1]. Die Querstromfiltration (cross-flow-Filtration) wird hauptsächlich zur Aufkonzentrierung von Suspen-

sionen eingesetzt und hat bei der Reinigung von Pflanzenölen keine Bedeutung.

Kuchenbildende Filtration

Die Feststoffe in der Suspension werden bei der kuchenbildenden Filtration unter der Wirkung eines Druckgefälles an einem porösen Filtermaterial (zum Beispiel Gewebe, Vliese, Metallmembranen) zurückgehalten. Sie bilden dabei Brücken und wachsen zu einem Filterkuchen an. Das Prinzip der kuchenbildenden Filtration zeigt Abbildung 18.

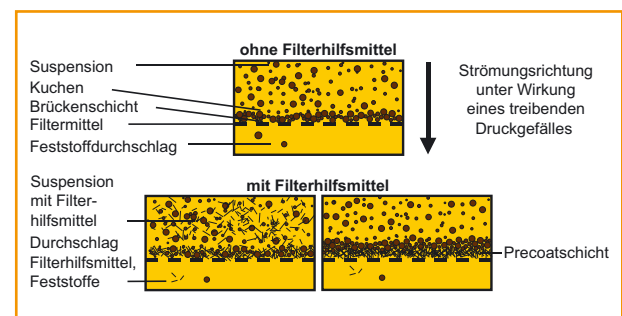


Abb. 18: Prinzip der kuchenbildenden Filtration (nach ANLAUF, H. (1991) [1])

Um ein schnelles Verstopfen des Filtermaterials zu vermeiden, wird der Porendurchmesser des Filtermittels größer gewählt als der Durchmesser der Partikel, die zurückgehalten werden sollen. Deshalb gelangen zu Beginn des Filtrationsvorganges so lange Partikel in das Filtrat, bis sich über dem Filtermittel stabile Brücken aus den Feststoffpartikeln gebildet haben.

Das Rückhaltevermögen eines Filtermittels wird häufig als absolute oder nominale Filterfeinheit angegeben. Die absolute Filterfeinheit nennt den Durchmesser der größten harten kugelförmigen Partikel, die das Filtermittel unter stationären Durchflussbedingungen passieren können. Die nominale Filterfeinheit gibt eine Partikelgröße an, die sich auf die Abscheidung von in der Regel 98 % der im Ausgangsmaterial vorhandenen Partikel bezieht.

Der Filterkuchen, der sich im Laufe des Filtrationsprozesses aufbaut, übernimmt die Funktion des Filtermittels. Zur Verbesserung der Brückenbildung können Filterhilfsmittel (zum Beispiel Cellulose) eingesetzt werden. Sind die Filterapparate mit zu engmaschigen Filtermitteln bestückt, müssen drainagefördernde Filterhilfsmittel verwendet werden.

Soll eine kuchenbildende Filtration als Hauptreinigungsstufe durchgeführt werden, ist es in der Regel nicht sinnvoll, zuvor eine Vorreinigung durch Sedimentation durchzuführen. Durch eine Sedimentation werden überwiegend große (schwere) Partikel abgeschieden, die jedoch für einen guten Filterku-

chenaufbau benötigt werden. Sind nur noch kleine Partikel für den Filterkuchenaufbau vorhanden, so entsteht ein dünner und sehr dichter Filterkuchen mit schlechten Drainage-Eigenschaften. Als Folge wird der Totraum im Filter für den Filterkuchenaufbau nicht ausgenutzt. Es kommt zu einem schnellen Druckanstieg am Filter, was zu kurzen Filtrationszyklen führt. Bei Anlagenkonzepten mit Sedimentation und nachgeschalteter Filtration als Hauptreinigungsstufe ist deshalb in der Regel der Einsatz von Filterhilfsmitteln für den Kuchenaufbau zwingend erforderlich.

Bei der Anschwemmfiltration wird vor dem eigentlichen Filtrationsvorgang eine Filterhilfsmittelschicht auf dem Filter angeschwemmt (Precoat-schicht), siehe Abbildung 18. Die Anschwemmfiltration ist im Übergangsbereich zwischen kuchenbildender Filtration und Tiefenfiltration anzusiedeln.

Tiefenfiltration

Bei der Tiefenfiltration werden grobporige Filterhilfsmittelschichten eingesetzt, in deren Innerem sich die Feststoffe festsetzen sollen. Abbildung 19 zeigt eine schematische Darstellung der Tiefenfiltration. Die Tiefenfilterschichten können unter anderem aus einer Schüttung, zum Beispiel Sand, aus einer Precoat-schicht bei der Anschwemmfiltration, zum Beispiel Kieselgur, oder aus maschinell gefertigter Pappe, zum Beispiel aus Zellstoffen, bestehen. Da eine Regenerierung der Tiefenfilterschichten oft nicht möglich ist, müssen diese, wenn die innere Oberfläche belegt ist, beziehungsweise die Druckdifferenz zu hoch wird, ausgetauscht werden. [1]

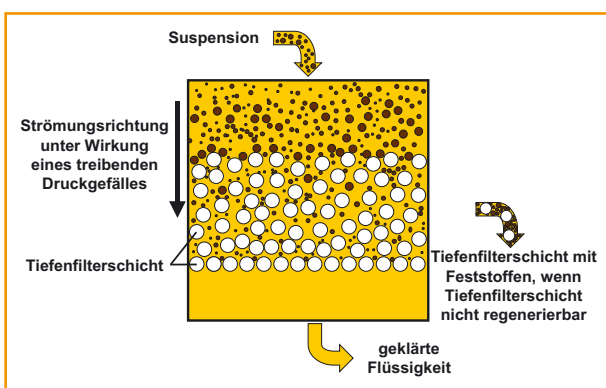


Abb. 19: Prinzip der Tiefenfiltration (nach ANLAUF, H. (1991) [1])

Filterapparate zur Reinigung von Pflanzenölen

Bei der Pflanzenölgewinnung in dezentralen Anlagen werden zur Hauptreinigung zumeist Kammer- oder Rahmenfilterpressen sowie Vertikal-Druckplatten- oder Vertikal-Druckkerzenfilter eingesetzt. Bei der Sicherheitsfiltration werden in der Regel Ker-

zenfilter oder Beutelfilter sowie Tiefenfilter beziehungsweise Tiefenschichtenfilter verwendet.

Filter zur Hauptreinigung Kammer- und Rahmenfilterpressen

Kammer- und Rahmenfilterpressen bestehen aus parallel aufgehängten Filterplatten mit einem dazwischen eingespannten Filtermittel (Filtertücher). Das Filterplattenpaket wird zwischen einer festen und einer beweglichen Druckplatte meist hydraulisch zusammengespant. Abbildung 20 zeigt den Aufbau und die Funktion einer Kammerfilterpresse.

Bei Rahmenfilterpressen wird der Raum für die Kuchenbildung durch den Hohlraum zwischen dem eingesetzten Rahmen und den ebenen Filterplatten erzeugt. Bei Kammerfilterpressen entsteht der Hohlraum durch eine beidseitige Vertiefung im Plattenkörper; Rahmen müssen deshalb nicht eingesetzt werden.

Die Zuführung des ungereinigten Öls (Truböl) erfolgt von der Stirnseite durch eine in der Plattenmitte durchgängige Bohrung, die beim Zusammenpressen einen Kanal bildet. Die Oberflächen der Filterplatten sind genoppt, um einen Ablauf des Filtrats zu ermöglichen. Das Filtrat wird in einem weiteren durch Bohrungen gebildeten Kanal oder in einer Rinne abgeführt. Die Entnahme des Filterkuchens erfolgt automatisch oder manuell.

Vertikal-Druckplattenfilter und Vertikal-Druckkerzenfilter

In dezentralen Ölgewinnungsanlagen kommen häufig Vertikal-Druckplattenfilter und Vertikal-Druckkerzenfilter zum Einsatz. Diese Filter bestehen aus einem Filtergehäuse, in dem zahlreiche Filterplatten oder kerzenförmige Filterelemente vertikal angeordnet sind. Den Aufbau und die Funktion eines Vertikal-Druckkerzenfilters (Cricketfilter®) zeigt Abbildung 21.

Die Filterelemente werden von außen nach innen vom Truböl durchströmt, bis sich ein Filterkuchen gebildet hat, der die Filtration ermöglicht. Ab diesem Zeitpunkt wird das Filtrat abgeleitet. Das Anschwemmen des Filterkuchens erfolgt druck- oder zeitgesteuert. Der Flüssigkeitsdruck wird über eine Pumpe erzeugt. Am Ende des Filtrationsvorgangs wird der Filterkuchen mit Hilfe von Druckluft (Gasdifferenzdruck) getrocknet und durch Vibrationen oder durch Druckluft im Gegenstrom von der Filterkerze entfernt. Der dadurch erzeugte Filterkuchen hat einen Restölgehalt, der dem des Presskuchens vergleichbar ist. Das beschriebene Verfahren ist voll automatisierbar. Die Steuerung des Anschwemmens des Filterkuchens erfordert vom Anlagenbetreiber jedoch ein großes Maß an Erfahrung.



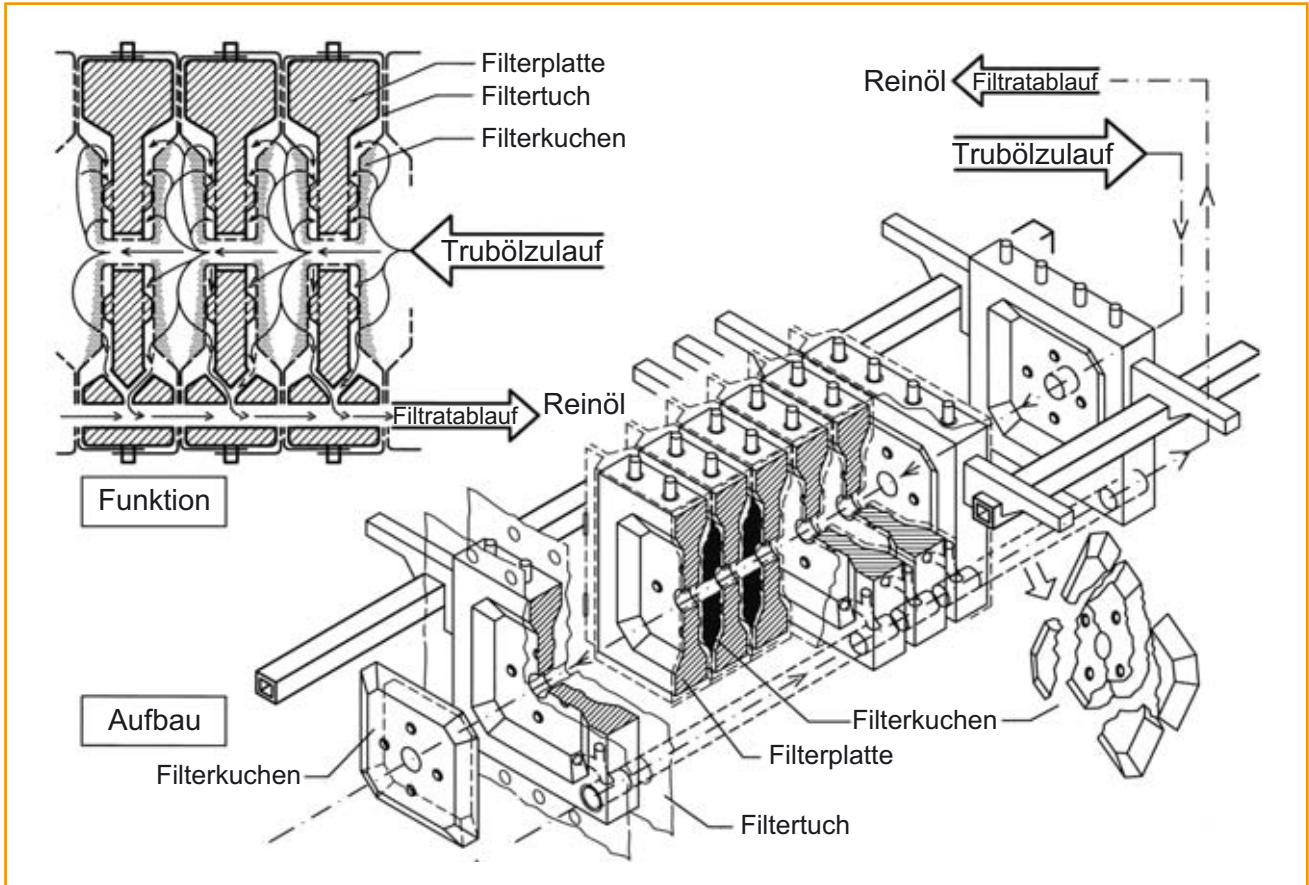


Abb. 20: Aufbau und Funktion einer Kammerfilterpresse

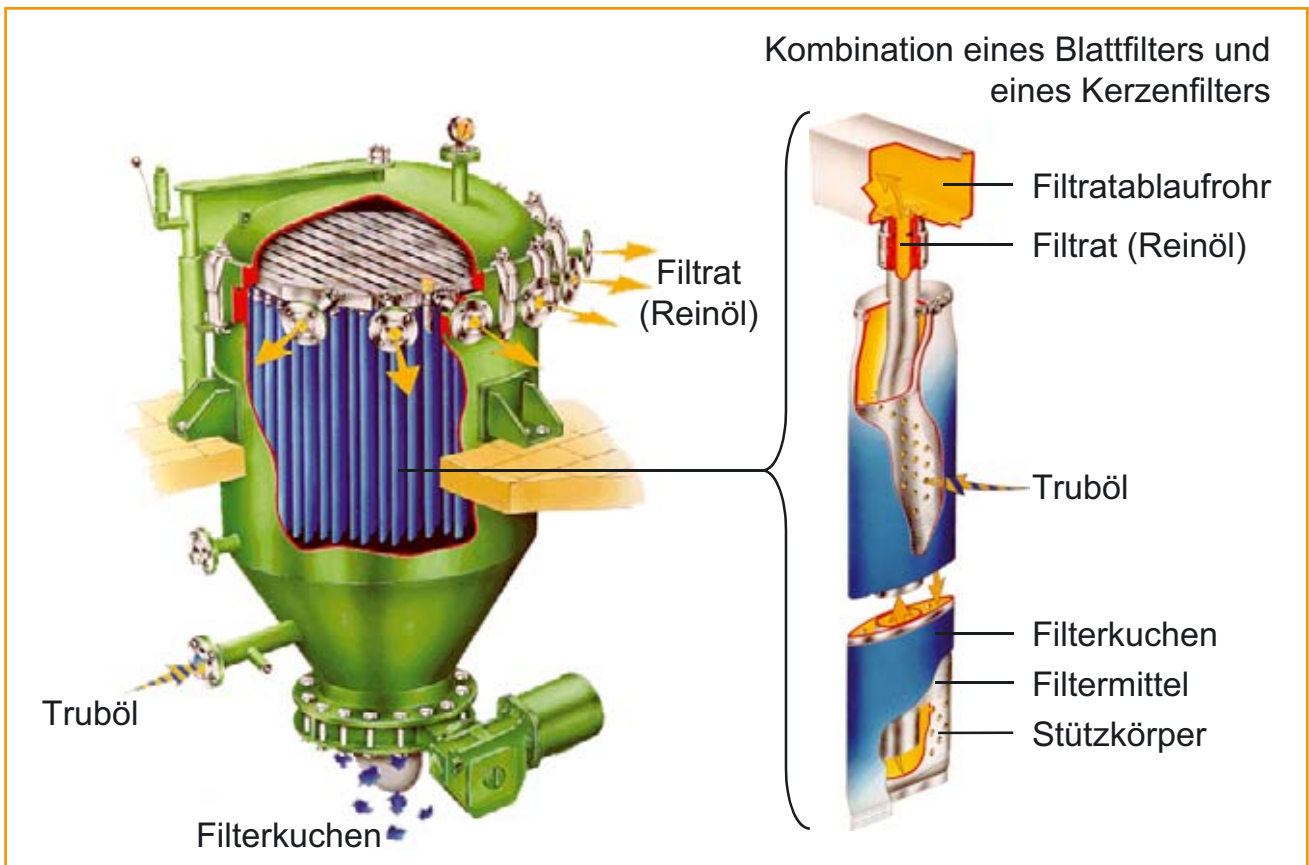


Abb. 21: Aufbau und Funktion eines Vertikal-Druckkerzenfilters „Cricketfilter“ (nach Amafilter B.V., Alkmaar, Niederlande)

Bei der Verrohrung der Anlage sind vor und nach den Apparaten zur Hauptreinigung Probenahmehähne, Schaugläser und Manometer vorzusehen, um den Filtrationsprozess überwachen und dokumentieren zu können.

Filter zur Endreinigung

Beim Betrieb von Endfiltern ist darauf zu achten, dass der Volumenstrom an Öl auf die zur Verfügung stehende Filterfläche abgestimmt wird, so dass das Druckgefälle am Filter zu Beginn der Filtration möglichst gering ist. Mit zunehmender Filterbelastung steigt das Druckgefälle an. Üblicherweise wird der Endfilter aus einem Zwischenbehälter, der das Öl aus der Hauptfiltration aufnimmt, mit einer regelbaren Pumpe gespeist. Dadurch können die Druckverhältnisse am Endfilter den Herstellerangaben entsprechend eingestellt werden.

Beutelfilter

Beutelfilter sind technisch einfach aufgebaute Filter, die zur Abtrennung großer Mengen an groben Partikeln oder zur Endfiltration (Sicherheitsfiltration) bei sehr geringen Feststoffkonzentrationen eingesetzt werden. Abbildung 22 zeigt Aufbau und Funktion eines Beutelfilters. Beutelfilter arbeiten mit einem durch eine Pumpe erzeugten Flüssigkeitsdruck. Das Filtermittel der Beutelfilter besteht häufig aus Nadelvlies oder Mikrofaser. Es ist in Beutelform genäht oder verschweißt und wird in einen stützenden Filterkorb aus Drahtgewebe eingelegt. Der obere Rand des Filterbeutels ist gegen den Filterkorb abgedichtet. Das Trüböl durchströmt den Filterbeutel von innen nach außen. Filtergehäuse für Beutelfilter werden in unterschiedlichen Bauformen angeboten.

Untersuchungen zur Eignung verschiedener Sicherheitsfilter für den Einsatz bei der dezentralen Öl-

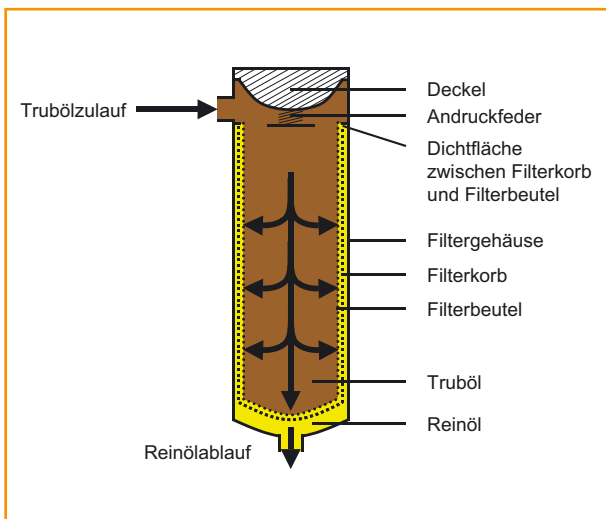


Abb. 22: Aufbau und Funktion eines Beutelfilters

saatenverarbeitung [41] [66] [70] haben gezeigt, dass in der Praxis bisher eingesetzte Beutelfilter oftmals als Endfilter für die Produktion von Rapsölkraftstoff nicht geeignet sind. Beutelfilter können jedoch in einer zweistufigen Endfiltration eingesetzt werden, wenn im Öl nach der Hauptreinigung noch eine relativ hohe Verschmutzung vorliegt, um eine Standzeitverlängerung des eigentlichen Endfilters zu ermöglichen.

Kerzenfilter

Einzel- oder Mehrfachkerzenfilter bestehen aus einem Filtergehäuse und den eigentlichen Filterkerzen. Diese bestehen meist aus einem zylindrischen Stützkörper, der vom Filtermittel umgeben ist. Als Filtermittel kommen zum Beispiel natürliche und synthetische Fasern zum Einsatz. Aufbau und Funktion eines Einzelkerzenfilters zeigt Abbildung 23. Die Filterkerze wird von außen nach innen vom Trüböl durchströmt. Die Filterkerze ist an ihrem oberen Ende zum Filtergehäuse hin abgedichtet.

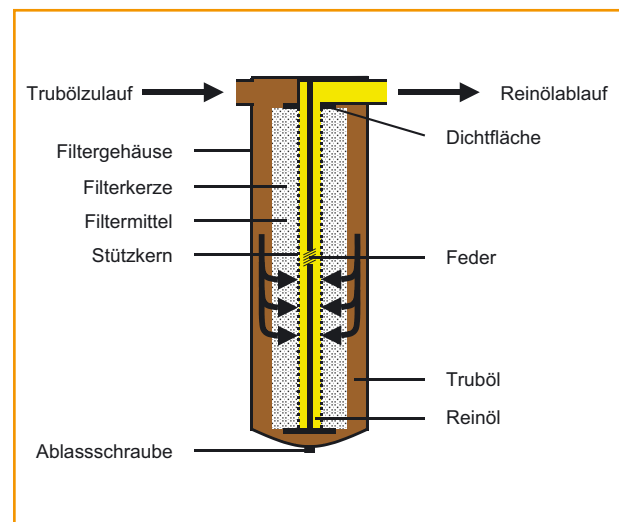


Abb. 23: Aufbau und Funktion eines Einzelkerzenfilters

Tiefenschichtenfilter

Tiefenschichtenfilter sind ähnlich aufgebaut wie Kerzenfilter. Anstelle der Filterkerze befinden sich im Filtergehäuse die Tiefenschichtenfiltermodule. Die Schichten selbst bestehen häufig aus gepresster Cellulose; sie werden von außen nach innen vom Öl durchströmt. Aufbau und Funktion eines Tiefenschichtenfilters ist in Abbildung 24 dargestellt.

Vor und nach den Apparaten zur Endfiltration sind wiederum Probenahmehähne und Drucksensoren oder Manometer einzubauen, um den Filtrationsprozess überwachen und dokumentieren zu können.



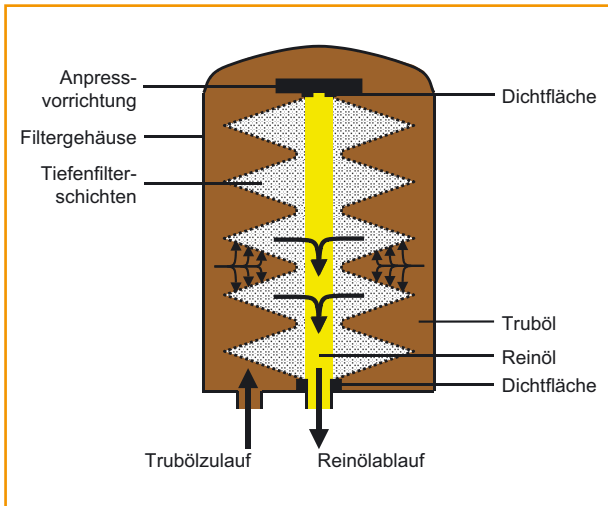


Abb. 24: Aufbau und Funktion eines Tiefenschichtenfilters

4.3.5.3 Entfeuchtung des Filterkuchens

Um möglichst viel Öl aus dem Filterkuchen, der bei der Filtration mit Vertikal-Druckplatten- oder Vertikal-Druckkerzenfilter sowie Rahmen- und Kammerfilterpressen entsteht, auszutreiben, wird häufig ein Gasdruckgefälle, zum Beispiel durch Beaufschlagung mit Druckluft angelegt. Der Entfeuchtung des Filterkuchens sind jedoch Grenzen gesetzt, wie Abbildung 25 veranschaulicht.

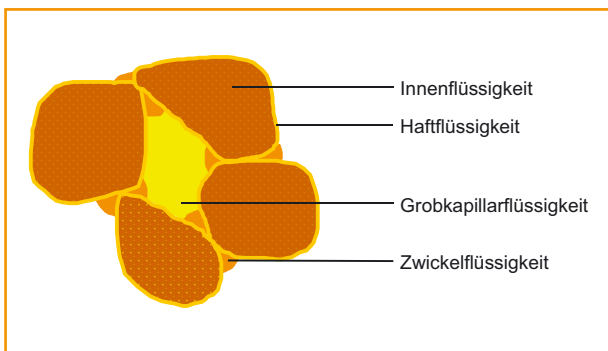


Abb. 25: Flüssigkeitsverteilung in einem Filterkuchen (nach ANLAUF, H. (1991) [1])

Lässt sich die Grobkapillarflüssigkeit noch relativ leicht aus dem Filterkuchen austreiben, so ist die Reduktion der Zwickelflüssigkeit nur mit hohem Aufwand zu erreichen. Haftflüssigkeit und Innenflüssigkeit können nahezu nicht vermindert werden. Der Restölgehalt im Filterkuchen lässt sich deshalb nicht beliebig verringern.

4.3.6 Verfahren zur Reduzierung unerwünschter Fettbegleitstoffe

Mit fortschreitender Motorenentwicklung und bei vermehrtem Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen wird die Reduzierung ablagerungs- und aschebildender Elemente, wie Phosphor, Calcium und Magnesium im Rapsölkraftstoff immer wichtiger [29]. Im Falle einer Verschärfung der Anforderungen in der Norm hinsichtlich eines geringeren Gehalts dieser Elemente in Rapsölkraftstoff wird es mit der heute praxisüblichen Verfahrenstechnik in dezentralen Ölgewinnungsanlagen häufig nicht mehr möglich sein, normkonforme Kraftstoffqualitäten zu produzieren.

Ziel verschiedener Entwicklungen der Industrie und von Forschungsvorhaben [16] [32] [92] ist es, mit einem zusätzlichen Verfahrensschritt bei der dezentralen Ölgewinnung den Gehalt dieser unerwünschten Fettbegleitstoffe deutlich zu reduzieren.

Die Entschleimung ist ein Verfahren, das bei der Raffination pflanzlicher Öle in industriellen Ölmühlen angewandt wird. Hierbei werden durch Zugabe von Wasser zum Öl ein Teil der Phosphatide hydratisiert, die dadurch ö unlöslich werden und abgetrennt werden können. Durch Zugabe von Phosphor-, Zitronen- oder Schwefelsäure können die nicht-hydratisierbaren Phosphatide zerstört werden. Diese werden dadurch hydratisierbar und können ebenso abgetrennt werden. Das Verfahren der Entschleimung ist vergleichsweise aufwändig und in der Regel nur für Ölmühlen mit hoher Verarbeitungskapazität rentabel. Ein geeignetes Verfahren für Ölgewinnungsanlagen mit geringer Verarbeitungskapazität erscheint nach derzeitigem Kenntnisstand die Behandlung mit Sorptionsmitteln zu sein. Bleicherde, Silikagel oder Cellulose werden dem Trüböl oder Reinöl zugegeben, die unerwünschten Elemente reichern sich am Sorptionsmittel an und das Sorptionsmittel zusammen mit den unerwünschten Elementen wird anschließend durch Filtration oder Zentrifugation vom Öl abgetrennt. Die Zugabe der Sorptionsmittel erfolgt beispielsweise mit Hilfe von Dosierschnecken. In Laborversuchen [92] wurden mit einem kombinierten Verfahren aus Säure-Entschleimung und Behandlung mit Sorptionsmitteln sehr gute Ergebnisse erzielt. Hierbei erwiesen sich die Kombinationen von Zitronensäure mit Silikagel oder Bleicherde als vorteilhaft. Allerdings ist zu beobachten, dass der Filtrationsprozess durch den Einsatz von Zitronensäure teilweise negativ beeinflusst wird. Der Zusatz von Filterhilfsmitteln (Cellulose) kann möglicherweise den Filtrationsvorgang verbessern. Bei der Verwendung von Bleicherden

kann zudem die Oxidationsstabilität sinken. In einigen Fällen sind, bedingt durch die Zitronensäure, ein Anstieg des Wassergehalts im Öl und, verursacht durch die Sorptionsmittel, ein Anstieg der Gehalte anderer Elemente, wie zum Beispiel Kalium und Natrium, zu verzeichnen. Eine individuelle Anpassung des Nachbehandlungsverfahrens an die Gegebenheiten der jeweiligen Ölmühle und an die Ölqualität erscheint erforderlich zu sein.

4.3.7 Additivierung

Die Verwendung von Additiven in Rapsölkraftstoff zur Qualitätsverbesserung ist gemäß DIN V 51605 [29] zulässig, sofern die Einstufung von Rapsölkraftstoff als „nicht wassergefährdend“ erhalten bleibt und keine Verschlechterung des Betriebsverhaltens des Motors oder des Abgasnachbehandlungssystems hervorgerufen wird.

In Forschungsvorhaben [35] werden derzeit Additive zur Verbesserung der Oxidationsstabilität, der Zündwilligkeit, des Fließverhaltens und der Ablagerungsbildung untersucht. Erste Ergebnisse der Untersuchungen zur Verbesserung der Oxidationsstabilität sind erfolgversprechend [19]. Um die Wirksamkeit der Additive sicher zu stellen, sind exakt arbeitende Dosiergeräte und Mischer vorzusehen.

4.3.8 Pumpen

Die Förderpumpen für Rapsöl müssen entsprechend dem Temperatur-/Viskositätsverhalten von Rapsöl ausgelegt werden, siehe hierzu Abbildung 12 und Tabelle 6, S. 21. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die in der Pumpe verwendeten Materialien pflanzenölbeständig und nicht katalytisch wirksam sind. Deshalb sind zum Beispiel kupferhaltige Legierungen, wie zum Beispiel Messing oder Bronze, zu vermeiden [90]. Für die Einstellung des Förderolumens und des Drucks ist eine stufenlose Regelung der Pumpendrehzahl empfehlenswert.

4.3.9 Reinöllager

Vor der Errichtung des Reinöllagers empfiehlt es sich, mit den zuständigen Behörden Kontakt aufzunehmen. Beim Betrieb von Lageranlagen und Abfüllplätzen für Rapsölkraftstoff sind die bundes- und landesrechtlichen Vorgaben zu beachten. Dazu zählen Baurecht, Wasserrecht, Gewerberecht und Umweltrecht. In der Regel gilt: Für auftretende Umwelt-

schäden haftet der Betreiber! Das Reinöllager sollte zumindest aus drei verschiedenen Lagertanks bestehen, von denen jeder mindestens das Volumen einer vierzehntägigen Ölproduktion aufnehmen kann. Ein Lagertank wird befüllt mit Rapsölkraftstoff aus der laufenden Produktion, ein zweiter Lagertank enthält Rapsölkraftstoff aus der vorangegangenen Produktion, dessen Inhalt zu einem späteren Zeitpunkt nach Vorliegen der Kraftstoffanalyse zur Abgabe freigegeben wird und ein dritter Lagertank bevorratet Rapsölkraftstoff zur Abgabe an die Kunden, dessen Inhalt aufgrund der bereits vorliegenden Kraftstoffanalyse freigegeben wurde. Die Lagerung von Rapsöl sollte möglichst dunkel und kühl erfolgen. Deshalb haben sich in der Praxis Erdtanks bewährt. Falls die Lagertanks oberirdisch aufgestellt werden müssen, sollte dies idealerweise in einer Halle geschehen, geschützt vor Sonneneinstrahlung und großen Temperaturschwankungen. Der Einfluss üblicher Tankmaterialien auf die Ölalterung ist gegenüber dem Einfluss der Lagertemperatur als gering einzustufen. In der Praxis haben sich Stahl- und Edelstahltanks bewährt. Der Reinöltank muss dicht verschließbar sein um Wasserzutritt zu verhindern. Außerdem sollte ein Mannloch vorhanden sein, um eine einfache Reinigung des Tanks zu ermöglichen. Die Lagertanks sollten mit einer Füllstandsanzeige und einer Füllstandsüberwachung ausgestattet sein. Die Tankbelüftung sollte vorbeugend mit einem Feuchtigkeit abscheidenden Filter bestückt sein. Die Bildung von Kondenswasser im Lagertank muss unbedingt vermieden werden.

In der Praxis werden für die Lagerung und den Handel mit Kleinmengen an Rapsölkraftstoff häufig in Abbildung 26 gezeigte Kombinations-IBC (Intermediate Bulk Container) verwendet. Diese oft als „Gitterboxen“ bezeichneten Kombinations-IBC bestehen aus einer Palette und einem Außengestell aus verzinkten Rohren mit einem Innenbehälter, meist

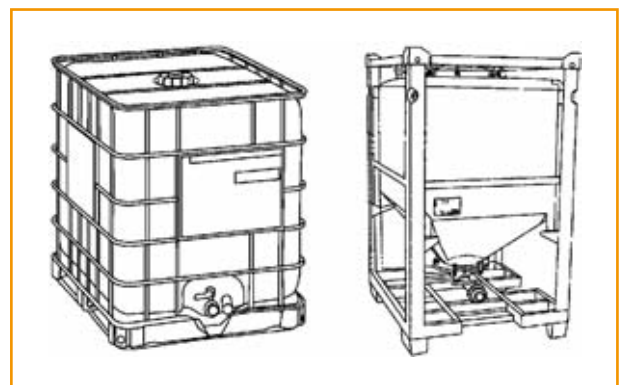


Abb. 26: Kombinations-IBC (Intermediate Bulk Container) und IBC aus Metall mit kubischem Tank aus Edelstahl mit Trichterboden



aus dem lichtdurchlässigen Kunststoff HDPE (High Density Polyethylen). Diese Gebinde haben häufig den Nachteil, dass sie nicht auf einfache Weise vollständig entleerbar und, in Ermangelung einer Befüllöffnung mit großem Durchmesser, nur schwierig zu reinigen und zu trocknen sind. Zudem ist kein Lichtschutz gegeben. Besseren Produktschutz und Vorteile bei der Entleerung und Reinigung bieten hingegen IBC mit kubischem oder zylindrischem Tank aus Edelstahl mit Trichterboden.

4.3.10 Presskuchenlager

Das Presskuchenlager sollte das Produktionsvolumen von zumindest einem Monat bevorraten können, um Nachfrageschwankungen ausgleichen zu können. Presskuchen weist direkt am Auswurf der Ölpressen Temperaturen um die 70 °C auf. Bevor der Presskuchen ins Lager gelangt, muss die Temperatur auf ein Niveau kleiner 30 °C gesenkt werden. Außerdem ist zu beachten, dass der warme Presskuchen noch große Mengen Wasserdampf abgibt. Die Fördereinrichtungen, wie zum Beispiel offene Trogschnecken oder Förderbänder, sollten deshalb die Abkühlung und das Trocknen des Presskuchens er-

möglichen. Für eine längerfristige Presskuchenlagerung ist eine Belüftung, beziehungsweise Kühlung des Lagers erforderlich.

4.3.11 Abgabestellen für Rapsölkraftstoff

Auch bei der Errichtung von Abgabestellen müssen behördliche Anforderungen wie bei der Errichtung des Reinöllagers berücksichtigt werden. Wird Pflanzenöl über Zapfsäulen als Kraftstoff verkauft, so muss für die Kraftstoffzapfsäulen eine Bauartzulassung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zur Eichung für Pflanzenöl bestehen. Die Eichung erfolgt dann am Aufstellungsort mit einer Gültigkeit von zwei Jahren. Eine Abgabe von Rapsölkraftstoff nach Gewicht über eine geeignete geeichte Handelswaage der Klasse III oder nach Volumen über geeichte Flüssigkeitsmaße ist auch möglich, siehe hierzu auch Kapitel 10.4, S. 69. Nähere Auskünfte erteilen die Eichbehörden der Länder. Die Eichbehörden der Länder haben zum Thema ein Merkblatt „Informationen zum Verkauf von Pflanzenöl als alternativer Kraftstoff“ [20] im Internet (<http://www.eichamt.de>) veröffentlicht.



Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Anlagen

Beginnend beim Rapsanbau über die Ernte, Reinigung, Trocknung und Lagerung der Saat bis hin zur Ölpresung, Ölreinigung, Öllagerung und Ölabgabe wird Einfluss auf die Qualität von Rapsölkraftstoff genommen. Tabelle 7 fasst die Einflussfaktoren auf

die Rapsölkraftstoffqualität zusammen. Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte näher beleuchtet. Die Aussagen werden untermauert mit Untersuchungsergebnissen aus verschiedenen Forschungsvorhaben.

Tabelle 7: Einflussfaktoren auf die Kennwerte von Rapsölkraftstoff

Kennwerte von Rapsölkraftstoff	Rapssaat								Ölpresung	Ölreinigung	Öllagerung	Ölabgabe
	Sorte	Straubanteil	Bruchkorn	Ausreifung	Auswuchs	Besatz	Trocknung	Lagerung				
Dichte	rapsölspezifisch – nicht beeinflussbar											
Flammpunkt	rapsölspezifisch – nicht beeinflussbar											
Kin. Viskosität	rapsölspezifisch – nicht beeinflussbar											
Heizwert	rapsölspezifisch – nicht beeinflussbar											
Zündwilligkeit	rapsölspezifisch – nicht beeinflussbar											
Koksrückstand	(✓) ¹											
Iodzahl	(✓) ¹											
Schwefelgehalt				✓			✓	✓				
Gesamtverschmutzung									✓	✓	✓	✓
Säurezahl	(✓)		✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Oxidationsstabilität	(✓) ¹		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
Phosphorgehalt			✓	✓	✓	✓			✓			
Calciumgehalt			✓	✓	✓	✓			✓			
Magnesiumgehalt			✓	✓	✓	✓			✓			
Aschegehalt		✓										
Wassergehalt							✓				✓	✓

¹ High-Oleic-Rapssorte im Vergleich zu herkömmlichen 00-Rapssorten

5.1 Sortenwahl und Rapsanbau

Der Rapsanbau sollte nach guter fachlicher Praxis und gemäß den gesetzlichen Bestimmungen an geeigneten Standorten mit standortangepassten Sorten erfolgen. Winterrapssorten unterscheiden sich in ihrem Einfluss auf die Qualität von Rapsölkraftstoff nicht [82] [83], sofern keine deutlichen Unterschiede in der Fettsäureverteilung vorliegen. Höhere Anteile an Linol- und Linolensäure wirken sich ungünstig auf die Oxidationsstabilität von Rapsölkraftstoff aus. Hingegen wird die Oxidationsanfälligkeit durch höhere Anteile an Ölsäure verringert. Sogenannte High-Oleic-(Sommer)rapssorten können deshalb bezüglich der Oxidationsstabilität des Öls Vorteile aufweisen [65] [67] [33] [70]. Es ist jedoch zu beachten, dass mit steigendem Anteil an Ölsäure das Temperatur-/Viskositätsverhalten negativ beeinflusst wird, das bedeutet, die Fließfähigkeit des Öls bei tiefen Temperaturen nimmt ab. Die Säurezahl, die Iodzahl, die Oxidationsstabilität und Elementgehalte im Öl können innerhalb einer Sorte zwischen den Erntejahren deutlich variieren. Die Oxidationsstabilität in Rapsöl nimmt in Untersuchungen bei Sommerrapssorten mit zunehmender Stickstoffgabe ab [65] [67]. Bei Winterrapssorten zeigte sich in Versuchen die Tendenz, dass sich eine zusätzliche Blattdüngung positiv auf die Ausreifung und somit auf den Gehalt an freien Fettsäuren auswirkt [65] [67]. Eine Saattiefe für Winteraps von 60 Körner pro m² hatte in Untersuchungen positive Effekte auf die Säurezahl, im Vergleich zu einer Saattiefe von 100 Körner pro m² [65] [67]. An Rapsorten zur Verarbeitung in dezentralen Ölmöhlen ist außerdem die Anforderung zu stellen, dass die Sorten hohe Ölgehalte und geringe Glucosinolatgehalte aufweisen. Niedrige Glucosinolatgehalte im Presskuchen ermöglichen die Verwertung des Presskuchens in der Tierfütterung.

Abbildung 27 zeigt die Oxidationsstabilität (110°C) von Rapsölen, die in Versuchen aus verschiedenen Winterraps- und Sommerrapssorten zweier Standorte (LfL: Landesanstalt für Landwirtschaft, Bayern; TLL: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft) und zweier Erntejahre gewonnen wurden. Die Werte für die Oxidationsstabilität liegen alle über dem geforderten Grenzwert von 6 h gemäß der Vornorm DIN V 51605. Öle, die aus Rapsorten der Ernte 2005 gewonnen wurden, zeichnen sich durch insgesamt höhere Oxidationsstabilitäten aus als die aus der Ernte 2004. Die durchschnittliche Oxidationsstabilität (110°C) aller Öle aus Winterrapssorten beträgt 8,0 h. Die Sorte Aviso schneidet bei diesen Untersuchungen, im Vergleich zu den anderen Winterrapssorten, tendenziell schlechter ab. Dies ist

vermutlich auf die vergleichsweise höheren Anteile an Linol- und Linolensäure (C18:2 und C18:3) zurückzuführen. Die hochölsäurehaltige Sommerrapssorte Nex 160 zeigt eine sehr hohe Oxidationsstabilität von mehr als 12 h. Dies ist durch den erhöhten Anteil an Ölsäure (C18:1) begründet. [70]

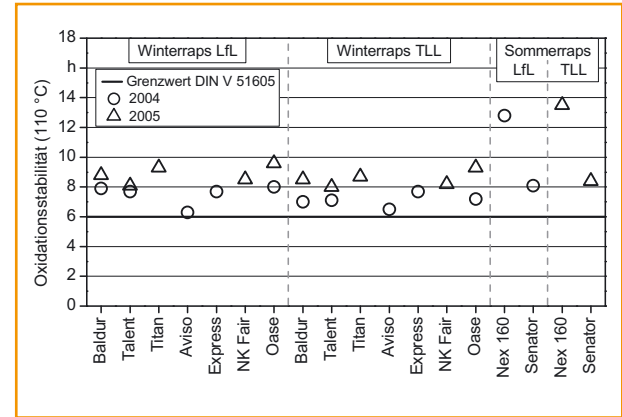


Abb. 27: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben verschiedener Rapsorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Bei den Untersuchungen wurde außerdem festgestellt, dass die Rapsöle aus den beiden Sommerrapssorten im Vergleich zu den Ölen aus den Winterrapssorten tendenziell höhere Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium aufweisen. In den Ölen aus den Rapsorten der Ernte 2004 wurden vergleichsweise höhere Werte für Calcium und Magnesium gemessen als in den Ölen der Ernte 2005. Die Gehalte an Calcium und Magnesium in den Rapsölen aus verschiedenen Rapsorten zeigt Abbildung 28 [70].

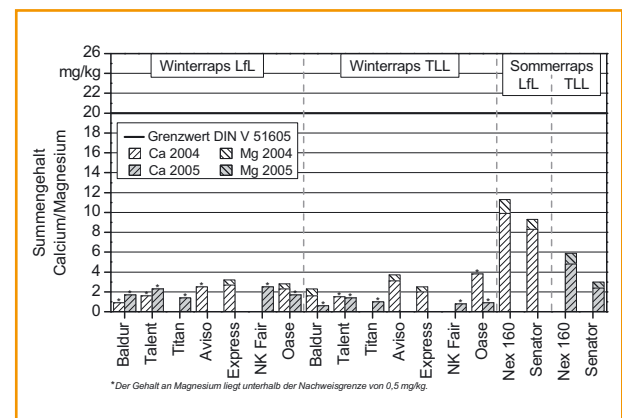


Abb. 28: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben verschiedener Rapsorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

5.2 Rapsernte

Der richtige Erntezeitpunkt der Rapssaat ist hinsichtlich des optimalen Ertrags und für eine beabsichtigte Weiterverarbeitung in dezentralen Ölmühlen von großer Bedeutung. Rapssaat muss zum Zeitpunkt der vollständigen Ausreifung (Vollreife BBCH Code 89 [57]) geerntet werden. Auswuchs der Ölsaart muss vermieden werden.

5.2.1 Saatreife

Hohe Anteile unreifer Körner wirken sich vor allem auf die Säurezahl, die Oxidationsstabilität und die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl negativ aus. Der Ölgehalt nimmt in den letzten Tagen vor der optimalen Reife zu, während der Gehalt an freien Fettsäuren sinkt. Wird eine zu früh geerntete Saat zu Rapsöl weiterverarbeitet, sind erhöhte Gehalte an freien Fettsäuren und somit eine erhöhte Säurezahl im Öl zu finden. Außerdem weisen unreife kleine Körner mit einem Durchmesser unter 1,5 mm niedrigere Ölgehalte und erhöhte Chlorophyllgehalte (etwa 50 mg/kg) auf [56]. Durch spätere Erntetermine lassen sich zudem Ertragsverluste verringern und der Trockensubstanzgehalt der Saat steigt an [37] [39]. Häufig lässt sich die Ausreifung über die Kornfärbung prüfen. Mit zunehmender Ausreifung steigt die Anzahl schwarzgefärbter Körner an und der Anteil brauner beziehungsweise grauer Körner nimmt ab [39]. Abbildung 29 zeigt Ergebnisse aus den Versuchen zum Einfluss der Saatreife auf die Rapsölqualität [70]. Die Säurezahl des Rapsöls nimmt in der Tendenz mit zunehmendem Anteil an reifer Saat bei der Verarbeitung ab. Bei einem Anteil an reifer Saat von 30 % liegt die Säurezahl bei den vorliegenden Untersuchungen nur knapp unter dem geforderten Grenzwert von 2,0 mg KOH/g. Rapsöl, das

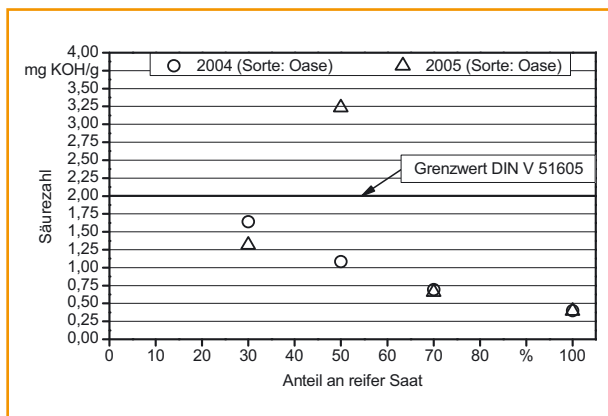


Abb. 29: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

aus der vollständig ausgereiften Saat hergestellt wurde, weist hingegen eine Säurezahl von 0,4 mg KOH/g auf. Je höher der Anteil an reifer Saat ist, desto niedriger ist die Säurezahl.

Der nicht stetige Verlauf der Messwerte für die Säurezahl der Saatproben der Ernte 2005 kann nicht eindeutig erklärt werden. Unter Umständen war zum Zeitpunkt „30 % reife Saat“ die Fettsäuresynthese nicht weit fortgeschritten, so dass die Syntheseprodukte noch keine „freien Fettsäuren“ waren und deshalb bei der Analyse nicht erfasst werden konnten.

Die Oxidationsstabilität, als Maß für die Lagerfähigkeit des Öls, steigt mit zunehmender Saatreife im Rapsöl, wie in Abbildung 30 dargestellt, geringfügig an. Rapsöl aus Rapssaat der Ernte 2005 weist eine etwas höhere Oxidationsstabilität als die Öle aus der Rapssaat der Ernte 2004 auf.

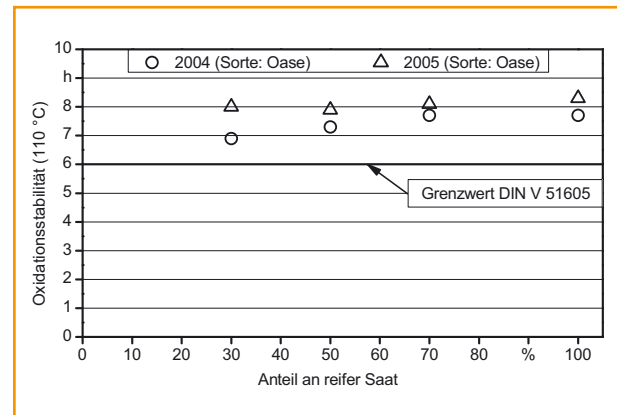


Abb. 30: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Noch wesentlich deutlicher ist in Abbildung 31 und Abbildung 32 der Einfluss der Saatreife auf den Gehalt an den Elementen Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl zu erkennen.

Der Phosphorgehalt der untersuchten Rapsölproben sinkt mit zunehmendem Anteil an reifer Saat. Bei einem Anteil von 30 % reifer Saat liegt der Gehalt an Phosphor der Ölproben aus Rapssaaten zweier Erntejahre über dem geforderten Grenzwert der DIN V 51605 von 12 mg/kg. Bei einem Anteil von 50 % reifer Saat liegt der Phosphorgehalt der Ölprobe aus Rapssaat der Ernte 2005 über, der Phosphorgehalt der Ölprobe aus Rapssaat der Ernte 2004 knapp unter dem Grenzwert. Erst die beiden Ölproben aus 100 % reifer Saat weisen einen Phosphorgehalt deutlich unter dem geforderten Grenzwert auf. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass zum Beispiel bei der Rapsernte 2004 zwischen den Erntestadien 30 % reife Saat und 100 % reife Saat nur elf

Tage vergingen. Innerhalb eines kurzen Zeitraums entscheidet sich daher, ob eine Rapssaat für eine Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen verwendet werden kann oder nicht.

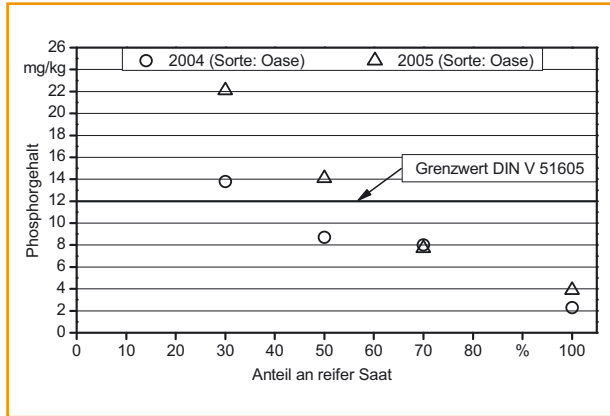


Abb. 31: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Deutlich ist in Abbildung 32 zu erkennen, dass mit zunehmender Ausreifung der Rapssaat der Summengehalt an Calcium und Magnesium abnimmt. Erst ab einem Anteil von 70 % reifer Saat wird in den Untersuchungen der Grenzwert für den Summengehalt an Calcium und Magnesium der Vornorm DIN V 51605 in Höhe von 20 mg/kg unterschritten. Wird vollständig ausgereifte Saat verarbeitet, können sehr geringe Gehalte an Calcium und Magnesium im Öl erzielt werden.

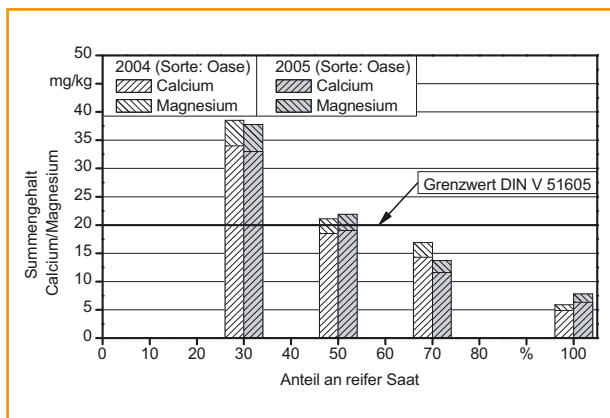


Abb. 32: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

5.2.2 Auswuchs

Auch eine durch Auswuchs gekennzeichnete Rapssaat ist nicht für die Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen geeignet. Auswuchsraps im fortgeschrittenen Stadium ist optisch an der geplatzen Samen-

schale und den mehr oder weniger großen Keimlingen zu erkennen. Wenn erntereife Rapsamen durch längere Regenperioden oder aber durch starke Bodenfeuchte im Lager vermehrt Wasser aufnehmen, kommt es zum Quellen der Samen und letztendlich zur Keimung. Bei der Keimung werden die Energiespeicher der Samen, wie Eiweiß, Stärke und Öle/Fette, angegriffen und teilweise aufgebraucht. Der Ölgehalt in ausgewachsener Rapssaat ist im Vergleich zu intakter Saat somit geringer. Zusätzlich kommt es zum Anstieg der Anteile an freien Fettsäuren im Öl [42]. In Versuchen wurde der Einfluss von Auswuchs in der Saat von kaltgepressten Rapspeiseölen untersucht. Nach einer viertägigen Lagerung von ausgewachsenem Raps kam es zu einer starken Zunahme von freien Fettsäuren im gewonnenen Öl [18]. Durch Auswuchs beeinflusst werden die Säurezahl und die Elementgehalte im Öl, hingegen ist der Einfluss auf die Oxidationsstabilität gering. Die Dauer der Lagerung von Rapssaat mit Auswuchs verstärkt den Effekt des Anstiegs von Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl [33] [70]. In den in Abbildung 33 gezeigten Versuchsvarianten werden bei einem Anteil an Auswuchs in der Rapssaat in Höhe von 10 % und 15 %, der Grenzwert für den Summengehalt an Calcium und Magnesium im Öl gemäß der Vornorm DIN V 51605 bereits überschritten [70].

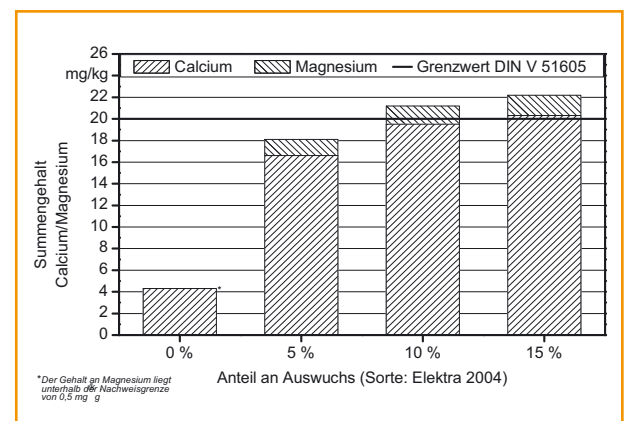


Abb. 33: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

5.2.3 Einstellungen des Mähdreschers

Der Anteil unerwünschter Verunreinigungen, wie zum Beispiel Fremdbesatz und Staub, aber auch der Anteil Bruchkorn in der Rapssaat kann bereits durch entsprechende Einstellung des Mähdreschers, zum Beispiel Siebe, Dreschkorb, Windmenge und Schnitthöhe, minimiert werden. Der Mähdrescher muss vor Erntebeginn gereinigt werden. Die Einstellung des

Schneidwerks sollte sich am unteren Schotenansatz ausrichten, damit ein möglichst hoher Schnitt des Rapsbestandes erfolgt. Aufgrund der so reduzierten Stängelmasse im Mähdrescher verbessert sich die Abscheidung, die Verluste sinken und es kommt zu einem geringeren Feuchteübertritt vom Stroh auf das Rapskorn. Der Abstand der Einzugsschnecke zum Bodenblech sollte je nach Massenstrom 15–20 mm betragen. Die Dreschtrommel-Drehzahl ist je nach Aufwuchs und Feuchte zwischen 400 und 600 Umdrehungen pro Minute (Trommelumfangsgeschwindigkeit 17–23 m/s) zu wählen. Bei trockenem Bestand und ausgereiften Schoten ist die Drehzahl um 50–150 Umdrehungen pro Minute zu reduzieren. Zu hohe Drehzahlen führen zu Bruchkorn und starker Zerkleinerung des Strohs. Der Abstand zwischen Dreschkorb und Dreschkorbleisten sollte 25–30 mm betragen. Der Abstand sollte schrittweise um 2 mm vergrößert werden, je nach Wassergehalt und Masse des Aufwuchses. Die Öffnung des Obersiebes sollte 7–9 mm, die des Untersiebes 3–5 mm betragen. Der Windstrom sollte so eingestellt werden, dass die ausgedroschenen Schoten und Spreuteile nur bis zu 3/4 des Obersiebweges getragen und nicht aus dem Siebkasten hinausgeblasen werden [36] [62].

5.3 Transport der Rapssaat

Transportfahrzeuge und Transportmittel (Förderbänder, Elevatoren etc.) müssen vor Aufnahme der Rapssaat gereinigt werden und müssen absolut trocken sein. Eine Verunreinigung und Befeuchtung der Saat wird somit vermieden. Während des Transports ist die Saat durch geeignete Maßnahmen, wie zum Beispiel Abdecken mit einer Plane, vor Niederschlag, direkter Sonneneinstrahlung, Vogelkot und sonstigen Verunreinigungen zu schützen [27]. Durch den Einsatz geeigneter Fördertechniken und durch die richtige Betriebsweise kann der Anteil an Bruchkorn in der Saat auf geringem Niveau gehalten werden.

5.4 Rapssaatreinigung

Vor der Einlagerung ist ein Anteil an Besatz und Bruchkorn in der Rapssaat von deutlich unter 1 Masse-% anzustreben. Auch der Anteil unreifer Körner muss minimiert werden, siehe hierzu auch Kapitel 5.2.1, S. 33. Saatpartien mit höherem Anteil an Besatz, Bruchkorn und unreifen Körnern müssen deshalb entsprechend gereinigt werden. Die Reinigung der Rapssaat erfolgt durch mechanische Siebung und Sichtung mittels Luft.

5.4.1 Besatz

Nach DGF-Einheitmethoden ist Besatz definiert als organische und anorganische fremde Bestandteile sowie fremde Saat. Beschädigte, gequetschte oder geschimmelte Samen sind nach Definition kein Besatz [26]. Raps ist bei der Ernte aufgrund der kleinen Korndurchmesser schwierig von Besatz zu trennen. Im Erntegut ist daher ein erhöhter Anteil von Schoten- und Stengelbruchstücken sowie Samen von Ackerunkräutern zu finden, die zum großen Teil vergleichbare Körnerdurchmesser wie Raps aufweisen. Abbildung 34 zeigt verschiedene Besatzfraktionen die nach Reinigung der Rapssaat über Steigsichter, Obersieb und Untersieb abgetrennt werden können.



Abb. 34: Verschiedene Besatzfraktionen nach Reinigung (von links nach rechts: Steigsichter, Obersieb und Untersieb)

Rapskörner sind in ihren geschlossenen Schoten noch nicht mit Mikroorganismen infiziert. Dies erfolgt bei Dresch- und Trennvorgängen durch intensiven Kontakt mit feuchten Pflanzenteilen, wobei es auch zu einer geringfügigen Anfeuchtung der Körner kommen kann. Feuchte Besatzanteile können bis zu 100-mal mehr Mikroorganismen auf sich vereinigen als das Rapskorn [46] [47] [77] [59]. Beimengungen an Besatz stellen potentielle Verderbherde dar. An diesen Stellen, begünstigt durch höhere Temperaturen, können bereits nach kurzer Zeit biochemische Umwandlungsprozesse und eine Umsetzung der Fette eintreten [34]. Es kommt zu unerwünschten Schimmelbildungen und enzymatischen Vorgängen in der Saat während der Lagerung. Dadurch können Masseverluste auftreten und der Gehalt an freien Fettsäuren in der Saat kann ansteigen [51]. Hefen und Pilze beeinflussen wesentlich die Länge der Lagerzeit, die Qualität des Lagergutes und folglich die Qualität des Rapsöls.

Sowohl die Säurezahl als auch die Oxidationsstabilität sowie die Elementgehalte im Rapsölkraftstoff

werden durch Besatz in der Rapssaat ungünstig beeinflusst. Die in Untersuchungen festgestellten Änderungen sind zwar gering, können jedoch unter Umständen, zum Beispiel bei der Verarbeitung vorgeschädigter Saat, zu Grenzwertüberschreitungen führen [70].

5.4.2 Bruchkorn

Der Anteil an freien Fettsäuren in mechanisch beschädigten Rapskörnern ist vergleichsweise höher [42] [58]. Bruchkorn in der Saat verursacht einen deutlichen Anstieg der Säurezahl sowie der Elementgehalte Phosphor, Calcium und Magnesium im Rapsöl. Die Oxidationsstabilität hingegen wird nur geringfügig gemindert. Ergebnisse aus Untersuchungen zum Einfluss des Bruchkornanteils auf die Säurezahl zeigt Abbildung 35. Die Auswirkung auf den Phosphorgehalt und den Summehalt an Calcium und Magnesium ist in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt [33].

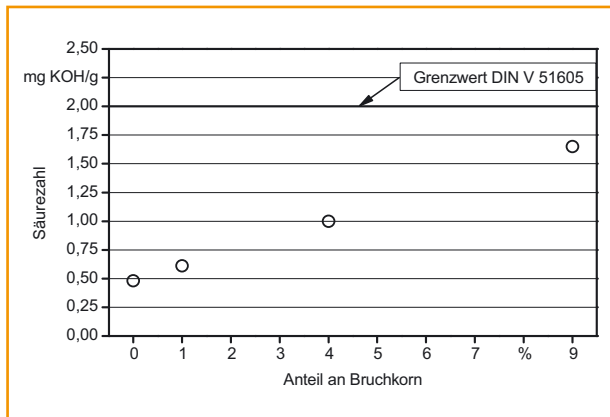


Abb. 35: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) [33])

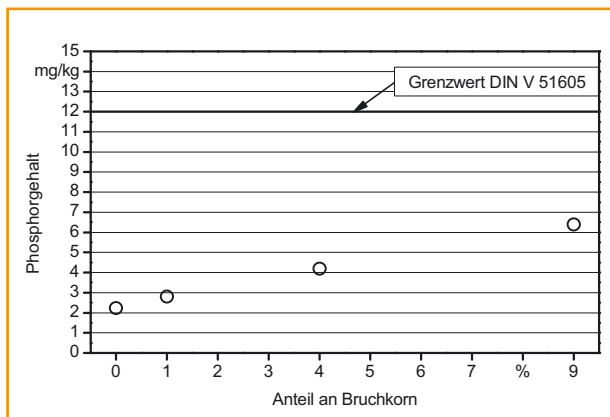


Abb. 36: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) [33])

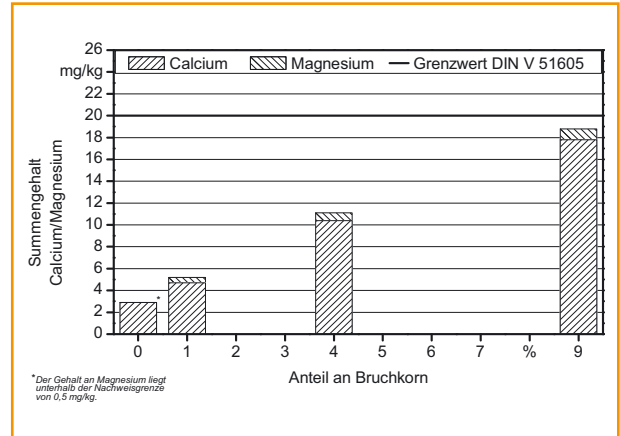


Abb. 37: Summehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) [33])

5.5 Rapssaattrocknung

Für eine qualitätserhaltende Lagerung der Rapssaat ist ein Wassergehalt von ≤ 7 Masse-% erforderlich [46]. Für die Ölgewinnung ist ein Wassergehalt der Saat von 6,5–7,5 Masse-% anzustreben [85]. Ziel für die Lagerung sollte deshalb ein Wassergehalt von 7 Masse-% sein. Die Trocknung der Rapssaat nimmt Einfluss auf die Ölqualität. Ein Wassergehalt über 10 Masse-%, zum Beispiel in einzelnen unreifen Rapskörnern, kann beispielsweise zu einem hydrolytischen Glucosinolat-Abbau führen. Während intakte Glucosinolate bei der Verarbeitung auf Grund ihrer polaren Struktur im Kuchen verbleiben, sind die bei der Spaltung der Glucosinolate entstehenden schwefelhaltigen Isothiocyanate („Senföle“) in Öl gut löslich und führen zu vergleichsweise höheren Schwefelgehalten im Rapsöl [70]. Eine möglichst schonende Trocknung ist anzustreben. Bei einem hohen anfänglichen Wassergehalt sollte der Rapssaat in einem Trocknungsdurchgang nicht mehr als 6 Masse-% Wasser entzogen werden, um die Qualität der Rapssaat nicht negativ zu beeinflussen. Eine zu heiße Trocknung birgt die Gefahr, dass die Oxidationsstabilität reduziert und der Gehalt an freien Fettsäuren (Säurezahl) im Öl erhöht wird [42] [58]. Falls erforderlich, sollte die Trocknung möglichst umgehend nach der Ernte erfolgen. Beim Betrieb, vor allem bei der Befüllung von Trocknern sollte beachtet werden, dass der Strömungswiderstand von Raps etwa 2,5-mal so hoch ist wie von Winterweizen [22].

5.6 Rapssaatlagerung

Vor der Einlagerung sollten die Saatpartien durch Sicht- und Geruchsprüfung sowie durch Bestimmung des Wassergehalts und des Anteils an Besatz auf ihre Qualität hin beurteilt werden, um bereits im Vorfeld die zu erwartende Ölqualität abschätzen zu können. Außerdem ermöglicht die Bestimmung des Anteils freier Fettsäuren in der Rapssaat eine Abschätzung der Säurezahl im Öl. Unterschiedliche Rapssaatqualitäten sollten im Lager nicht vermischt, sondern getrennt eingelagert werden, um bei der Ölsaatenverarbeitung über die Rohstoffauswahl die Ölqualität beeinflussen zu können.

Die Lagerung der Rapssaat sollte ausschließlich in zuvor gereinigten Lagerstätten erfolgen, siehe hierzu auch Kapitel 4.3.1, S. 16. Der Wassergehalt der Rapssaat während der Lagerung und für die Weiterverarbeitung sollte 7 Masse-% betragen. Eine rasche Kühlung der Saat nach der Ernte auf möglichst $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, besser $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist dringend anzuraten. Die Temperatur für eine qualitätserhaltende Lagerung der Rapssaat liegt bei $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ [46]. Hohe Temperaturen und hohe Wassergehalte in der Rapssaat führen zu einer Verringerung der Oxidationsstabilität und zu einem Anstieg der Säurezahl im Öl. Aus der Praxis gibt es Hinweise, dass sich bereits das Zwischenlagern einer sehr warmen frisch geernteten Rapssaat über wenige Stunden, zum Beispiel auf einem Transportfahrzeug, negativ auf die Oxidationsstabilität und die Säurezahl auswirken kann. Bei der Lagerung feuchter Saat oder unreifer Körner mit vergleichsweise höherem Wassergehalt kann ein hydrolytischer Glucosinolat-Abbau auftreten. Dabei entstehen öllösliche schwefelhaltige Glucosinolat-Spaltprodukte (zum Beispiel Isothiocyanate R-NCS), die bei der Ölgewinnung in das Rapsöl übergehen und zu einem Anstieg des Schwefelgehalts im Öl führen können. Intakte Glucosinolate verbleiben bei der Verarbeitung auf Grund ihrer polaren Struktur im Kuchen [70]. Durch die bei hohen Temperaturen verstärkt einsetzende Atmung der Rapssaat entstehen CO_2 und Wasserdampf sowie Wärmeenergie. Abbildung 38 zeigt, wie Rapssaat mit unterschiedlichen Wassergehalten in Abhängigkeit von der Lagerdauer zur Selbsterhitzung neigt [48].

Eine Saatbelüftung während der gesamten Lagerdauer ist empfehlenswert. Bei der Kühlung ist zu beachten, dass als Nebeneffekt auch der Wassergehalt in der Rapssaat abgesenkt wird. Wird mit Frischluft belüftet, ist eine Wiederbefeuchtung der Rapssaat durch eine zu hohe Feuchtigkeit der Außenluft zu vermeiden. Die Verwendung von Außenluft zur Kühlung ist nur dann sinnvoll, wenn diese minde-

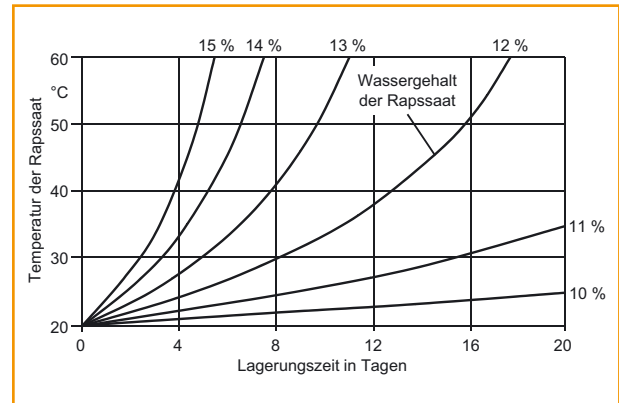


Abb. 38: Temperatur von Rapssaat (Selbsterhitzung) in Abhängigkeit von der Lagerdauer und dem Wassergehalt der Rapssaat (verändert nach JACOBSEN, E. E. (1995) [48])

stens eine um 7 K geringere Temperatur als die Rapssaat aufweist. Hilfestellung geben entsprechende Belüftungstabellen für Rapssaat. Die Saatlagertemperatur sollte regelmäßig überwacht werden. Ein Temperaturanstieg in der Schüttung ist auf jeden Fall zu vermeiden. Abbildung 39 zeigt, unter welchen Umweltbedingungen Insekten, Milben und Schimmelpilze in einem Rapssaatlager auftreten können.

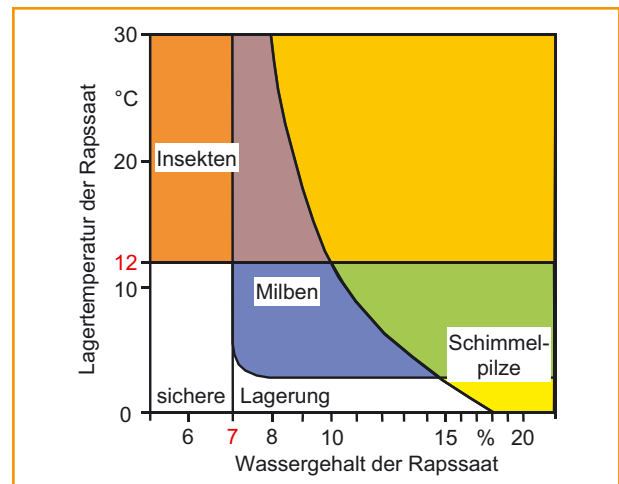


Abb. 39: Befall eines Rapslagers mit Insekten, Milben und Schimmelpilzen in Abhängigkeit des Wassergehalts und der Lagertemperatur der Rapssaat (verändert nach JACOBSEN, E. E. (1995) [48])

5.7 Rapssaat zur Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen

Eine für die Herstellung von Rapsölkraftstoff geeignete Rapssaat zeichnet sich, wie bereits dargestellt, durch eine gleichmäßige volle Ausreifung (Kapitel 5.2.1, S. 33), keinen Auswuchs (Kapitel 5.2.2, S. 34), einen geringen Anteil an Fremdbesatz (Kapitel 5.4.1, S. 35) und einen geringen Anteil an Bruchkorn (Ka-



pitel 5.4.2, S. 36) aus. Eine zweite Reinigung der Saat nach der Entnahme aus dem Lager, vor der Verarbeitung ist empfehlenswert. Vor der Verarbeitung sollten die Saatpartien nochmals durch Sicht- und Geruchsprüfung auf ihre Qualität hin beurteilt werden. Dies trifft vor allem auf zugekaufte Rapssaat zu. Vor der Übernahme der Ware vom Transportfahrzeug ist es überaus empfehlenswert, eine Qualitätsprüfung vorzunehmen. Für die Entnahme repräsentativer Proben sind geeignete Probenahmegeräte, wie zum Beispiel Stechheber, einzusetzen. Die Probenahme muss auf dem Transportfahrzeug an mehreren Stellen über die gesamte Schütthöhe erfolgen.

Erntefrische Rapssaat sollte vor der Verarbeitung etwa zwei Monate gelagert werden, damit die Saat „zur Ruhe“ kommt. Bei der Verarbeitung erntefrischer Saat können Probleme bei der Reinigung (Sedimentation und Filtration) auftreten, die zu einer erhöhten Gesamtverschmutzung führen können.

5.8 Saatzuführung zur Ölpresse

In den Wintermonaten ist darauf zu achten, dass die (kalte) Saat aus dem Lager vor dem Einbringen in den (warmen) Pressenraum an die Temperatur im Pressenraum, zum Beispiel durch moderate Saatanwärmung oder Zwischenlagerung in einem Saat-Tagesvorratsbehälter, angeglichen wird. Dadurch wird eine Kondensation von Wasser aus der feuchtwarmen Umgebungsluft im Pressenraum an der kalten Rapssaat unterbunden und damit ein erhöhter Wassergehalt im Rapsöl vermieden.

Für die Verarbeitung von Rapssaat in dezentralen Ölmühlen im Kaltpressverfahren sollte, wenn überhaupt, die Saat nur moderat auf Umgebungstemperatur angewärmt werden. Hohe Saatterperaturen bei der Verarbeitung erhöhen zwar den Abpressgrad, begünstigen jedoch den Anstieg unerwünschter Fettbegleitstoffe im Öl, die zu hohen Gehalten an Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl führen.

Wärmeübertrager (Wärmetauscher, Rekuperatoren) zur Saatanwärmung müssen regelmäßig auf Dichtheit geprüft werden, damit es zu keiner Befuchtung der Rapssaat durch die Übertragerflüssigkeit kommt. Die Anwärmung der Saat durch einen Warmluftstrom, der durch die Abwärme der Ölpresse erzeugt und über eine Gebläse an der Saat vorbeigeführt wird, birgt die Gefahr, dass Wasserdampf an der Saat kondensiert. Wie in Abbildung 10, S. 18 gezeigt, entweicht bei der Ölpresse aus der Saat eine erhebliche Menge Wasserdampf. Der Magnetabscheider in der Saatzuführung ist in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und zu reinigen.

5.9 Ölpressung

Die Rapssaatverarbeitung sollte schonend erfolgen, um den Übergang unerwünschter Fettbegleitstoffe in das Öl möglichst zu unterbinden. Durch die Betriebsweise der Ölpresse wird der Gehalt an Phosphor, Calcium und Magnesium beeinflusst. Mit steigendem Energieeintrag (Wärme) in die Saat bei der Ölpressung (Saatvorwärmung, Reibung und Druck in der Ölpresse, Saat-/Ölverweilzeit in der Presse) nimmt der Gehalt dieser Elemente im Öl zu. Abbildung 40 zeigt den Anstieg des Phosphorgehalts in Rapsöl mit steigender Presskopftemperatur bei Versuchen mit einer Lochzylinder-Schneckenpresse [85]. Die Abhängigkeit des Phosphorgehalts vom gewählten Düsendurchmesser ist in Abbildung 41 dargestellt [85]. Die Rapssaatpressung kann über die der Ölpresse zugeführte Menge Saat, die Drehzahl der Pressschnecke und die Drücke bei der Ölpressung optimiert werden. Die Drücke können indirekt, beispielsweise durch die Änderung der Spaltmaße der Seiherstäbe oder die Wahl der Pressdüse, beeinflusst werden.

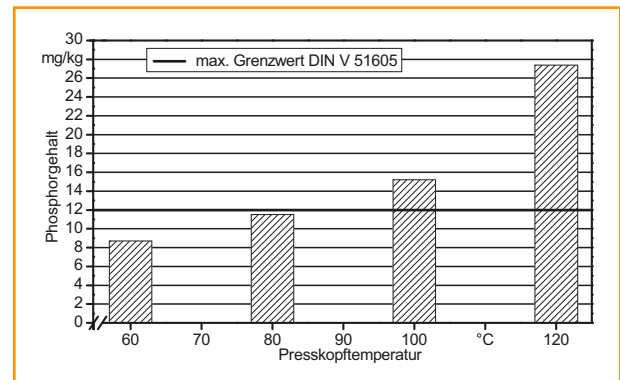


Abb. 40: Phosphorgehalt in Rapsöl in Abhängigkeit von der Presskopftemperatur (nach WIDMANN, B. (1994) [85])

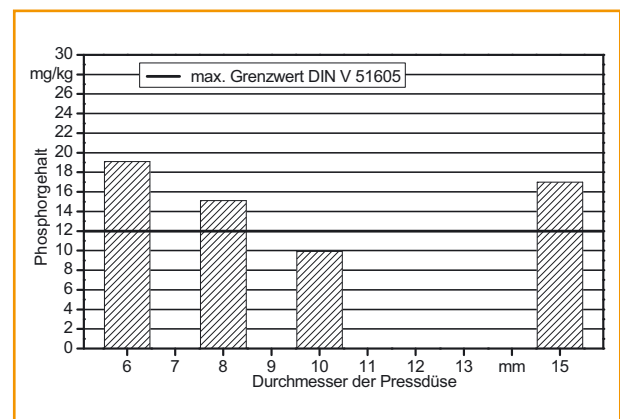


Abb. 41: Phosphorgehalt in Rapsöl in Abhängigkeit des Durchmessers der Pressdüse (nach WIDMANN, B. (1994) [85])

Innerhalb eines bestimmten Korridors besteht auch die Möglichkeit, über die Presseneinstellungen den Gehalt und die Größenverteilung der Feststoffe im Öl zu regulieren [66].

Wird nach der Pressung in einer zweiten Pressung der Presskuchen weiter entölt, fallen bei der zweiten Pressung Ölqualitäten an, die in der Regel nicht als Kraftstoff geeignet sind.

Die Betriebsbedingungen der Ölpresse lassen sich unter anderem durch den erzielten Abpressgrad beschreiben. Der Abpressgrad APG wird bezogen auf die Trockenmasse TM und ist nach WIDMANN (1994) [85] definiert als prozentualer Anteil des gewonnenen Öls am Ölgehalt der Saat. Der Abpressgrad wird gemäß SCHUMANN¹ nach folgender Formel berechnet:

$$\text{APG (TM)} = 100 \cdot \frac{\text{Ölgehalt (TM)}_{\text{Saat}} - \text{Ölgehalt (TM)}_{\text{Presskuchen}}}{\text{Ölgehalt (TM)}_{\text{Saat}} \cdot \left(1 - \frac{\text{Ölgehalt (TM)}_{\text{Presskuchen}}}{100}\right)}$$

Von GURGEL (2000) [43] und SCHUMANN wurde als weitere Größe für die Beschreibung der Ölausbeute der sogenannte Kaltgepresste Rohölanteil KRA definiert. Der Kaltgepresste Rohölanteil bezieht sich im Gegensatz zum Abpressgrad auf 91 % Trockenmasse, beziehungsweise auf die Frischmasse der eingesetzten Ölsaart:

$$\text{KRA (91 \% TM)} = 100 \cdot \frac{\text{Masse Öl}}{\text{Masse Saat}}$$

Bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung werden Abpressgrade, bezogen auf die Trockenmasse, von durchschnittlich 80 Masse % erzielt.

5.10 Fest/Flüssig-Trennung – Ölreinigung

Die im Öl nach der Pressung enthaltenen Feststoffe sollten über mindestens zwei Reinigungsstufen, nämlich Hauptreinigung (Grobklärung) und Sicherheitsfiltration (Endfiltration), weitgehend entfernt werden. Als Möglichkeiten der Fest/Flüssig-Trennung bieten sich Sedimentations- und Filtrationsverfahren an, näheres hierzu siehe Kapitel 4.3.5, S. 20. Bei der Hauptreinigung sollte eine Gesamtverschmutzung

deutlich unter dem Grenzwert der Vornorm DIN V 51605 von 24 mg/kg angestrebt werden.

Sedimentation

Sedimentationsverfahren als Hauptreinigungsstufe sind aufgrund der erforderlichen räumlichen Kapazitäten in der Regel nur für Ölpresen mit Saatsdurchsätzen bis ca. 50 kg Saat pro Stunde sinnvoll. Die Sedimentationsgeschwindigkeit der Partikel ist abhängig von der Größe, der Form und der Dichte der Partikel sowie der Viskosität des Öls, die wiederum von der Temperatur des Öls abhängig ist. In unbeheizten Lagerräumen kann sich deshalb über das Winterhalbjahr die für die Reinigung erforderliche Sedimentationszeit vervielfachen. Eine Mindestsedimentationszeit für die Hauptreinigung von Rapsölkraftstoff lässt sich nicht angeben, da die Sedimentationszeit im Wesentlichen vom Volumen und der Form der Sedimentationsbehälter sowie der Viskosität des Öls bestimmt wird. Das durch kontinuierliche Sedimentationsverfahren geklärte Öl weist in der Regel noch Werte für die Gesamtverschmutzung auf, die ein Vielfaches über dem Grenzwert liegen. Aus diesen Ölen müssen, am besten über zwei Filtrationsstufen, verbliebene Partikel entfernt werden. Die Reinigung von Rapsöl durch Sedimentation im Batch-Verfahren erfordert vom Anlagenbetreiber große Sorgfalt beim Dekantieren. Beim Dekantieren ist darauf zu achten, dass das Sediment nicht aufgewirbelt wird. Eine anschließende Filtration ist zwingend erforderlich. Das Sediment muss regelmäßig aus den Sedimentationsbehältern entfernt werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass das Öl beschleunigt altert.

Filtration

Die Hauptreinigung von Rapsöl durch Filtration (zum Beispiel Kammerfilterpresse, Vertikal-Druckplattenfilter oder Vertikal-Druckkerzenfilter) erfolgt nach dem Prinzip der kuchenbildenden Filtration. Wie bereits in Kapitel 4.3.5.2, S. 22 erläutert, baut sich im Laufe des Filtrationsprozesses ein Filterkuchen auf, der die Funktion des Filtermittels übernimmt. Erst wenn der Filterkuchen eine ausreichende Rückhaltung der Partikel gewährleistet, wird das gefilterte Öl zur zweiten Reinigungsstufe abgeführt. Die Steuerung der Filtration erfordert vom Anlagenbetreiber viel Erfahrung und Sorgfalt. Zur Verbesserung der Brückenbildung können Filterhilfsmittel (zum Beispiel aus Cellulose „Filtracel“) eingesetzt werden [66]. Die zugesetzten Filtermittel dürfen jedoch keine unerwünschten Stoffe an das Öl abgeben und sollten als Beimengung im Futtermittel unbedenklich sein. Da der Filterkuchen ein für Öl durchlässiges, für Par-

¹ Dr. Wolfgang Schumann, ehemals Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, mündliche Mitteilung



tikel jedoch undurchlässiges Haufwerk sein soll, sind für den Aufbau des Filterkuchens sowohl große, mittelgroße als auch kleine Partikel notwendig. Ein zu hoher Anteil mittelgroßer und kleiner Partikel hat ein schnelles Zusetzen der Poren der Filtermittel (Filtertücher) und kurze Filtrationszyklen zur Folge. Deshalb ist es nicht sinnvoll aus einem Rapsöl, das durch Filtration geklärt werden soll, zuvor durch Sedimentation große Partikel zu separieren. Die eingesetzten Filtermittel (Filtertücher) müssen regelmäßig gereinigt und auf Unversehrtheit geprüft werden. Nach der Reinigung mit phosphatidhaltigen Reinigungsmitteln ist es erforderlich, dass Reinigungsmittelreste gründlich von den Tüchern abgespült und die Tücher sorgfältig getrocknet werden.

Bei der Endfiltration oder Sicherheitsfiltration ist darauf zu achten, dass der Volumenstrom mit der erwarteten Partikelfracht auf die zur Verfügung stehende Filterfläche abgestimmt wird, so dass das Druckgefälle am Filter zu Beginn der Filtration möglichst gering ist. Ein geringer Volumenstrom bei niedrigem Druck bringt die besten Filtrationsergebnisse. Mit zunehmender Filterbelastung steigt das Druck-

gefälle an. Spätestens bei Erreichen der vom Hersteller angegebenen maximalen Druckdifferenz müssen die Filterelemente ausgewechselt werden.

Für die Endfiltration von Rapsölkraftstoff haben sich in bisherigen Untersuchungen [66] [41] [70] Filterkerzen aus gewickelter Baumwolle vom Typ CW 001 A10 SC der Firma Amafilter bewährt. Auch die Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N und ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter zeigten ein sehr gutes Rückhaltevermögen. Das Schmutzaufnahmevermögen letztgenannter Kerzenfilter ist jedoch als eher gering einzustufen, so dass diese Kerzenfilter aus ökonomischen Überlegungen nur in Ölmühlen mit gut funktionierender Hauptreinigung eingesetzt werden sollten. Abbildung 42 zeigt beispielhaft den Filtrationsverlauf für die Reinigung einer Charge von knapp 150 l Rapsölkraftstoff mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter. Die Analyseergebnisse der Rapsölproben, dargestellt in Abbildung 43, belegen, dass die Gesamtverschmutzung deutlich unter den Grenzwert der DIN V 51605 für Rapsölkraftstoff von 24 mg/kg gesenkt werden konnte. Die optische Konzentration der Partikel im

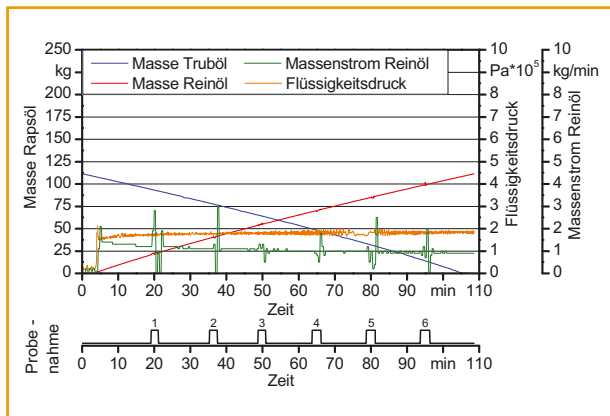


Abb. 42: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter

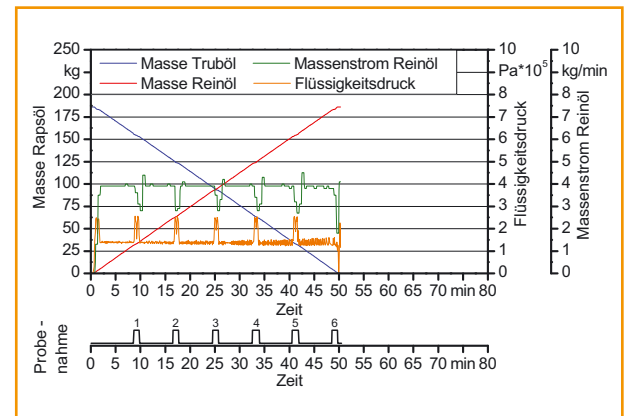


Abb. 44: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk

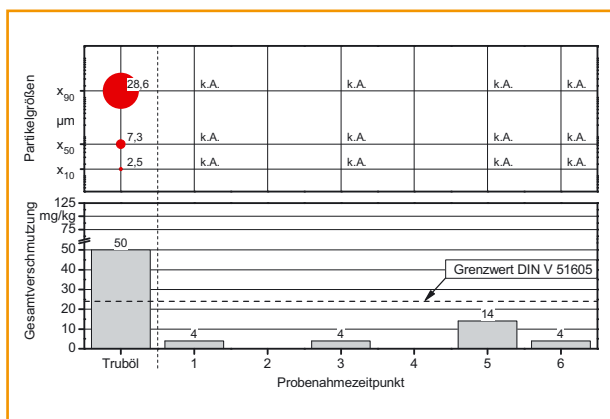


Abb. 43: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter

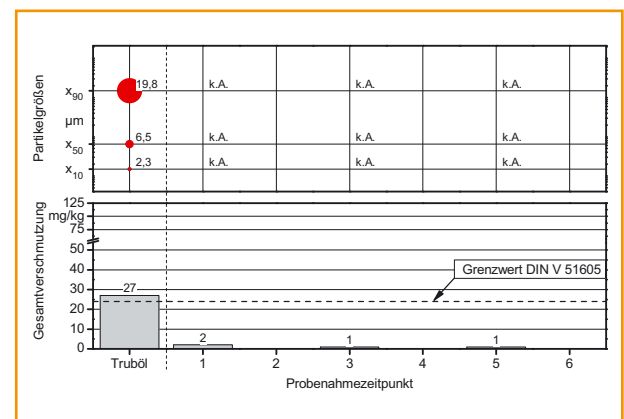


Abb. 45: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk

Öl war in diesem Falle so gering, dass keine Partikelgrößenverteilung mit Laserbeugungsspektroskopie ermittelt werden konnte [70].

Mit SUPRADisc Tiefenfiltermodulen des Anbieters Pall SeitzSchenk ließen sich bei den Tests zur Filtration von Rapsölkraftstoff sehr gute Erfolge erzielen. Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen den Filtrationsverlauf bei Versuchen mit einem SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk sowie die analysierte Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Truböl und Filtrat. Die Gesamtverschmutzung im gereinigten Öl lag zwischen 1 und 2 mg/kg, die Partikelgrößenverteilung war aufgrund zu geringer Konzentration nicht messbar [70].

Diverse Beutelfilter hingegen haben sich als Endfilter für die Produktion von Rapsölkraftstoff nur bedingt oder nicht geeignet erwiesen. Mit dem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter beispielsweise konnte in den Versuchen die Gesamtverschmutzung im Truböl nicht bis unterhalb des Grenzwerts von 24 mg/kg reduziert werden. Abbildung 46 zeigt den Filtrationsverlauf und Abbildung 47 die Analyseergebnisse für das Truböl und das Fil-

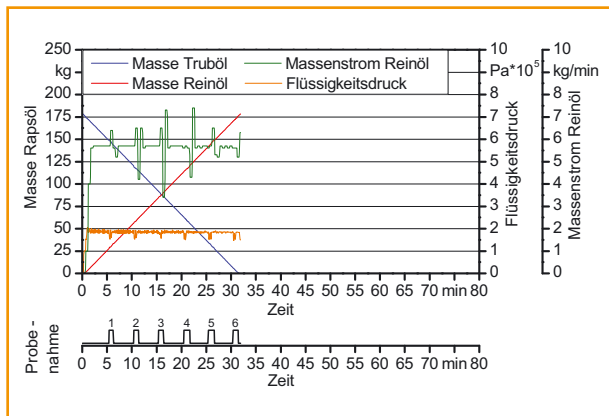


Abb. 46: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter

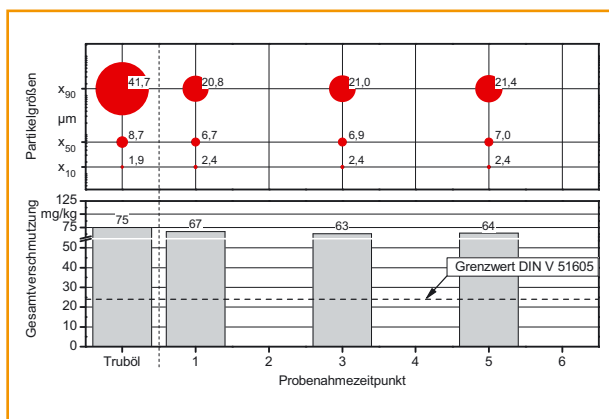


Abb. 47 Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter

trat. Gute Filtrationsergebnisse lieferte der Beutelfilter Typ 2-AXL-1 µm des Herstellers Filbertechnik Jäger. Wie Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen, konnte mit diesem Beutelfilter eine Reduzierung der Gesamtverschmutzung und eine Verringerung der Anzahl großer Partikel im Öl erreicht werden [70]. Beutelfilter können sinnvoll eingesetzt werden, um Störungen des Hauptfilters durch Differenzdruckanstieg anzuzeigen oder um Standzeiten eines nachgeschalteten Kerzen- oder Tiefenschichtenfilters zu erhöhen.

Auch an dieser Stelle nicht genannte Filteranlagen können möglicherweise für die Rapsölkraftstoffherstellung geeignet sein, wurden jedoch noch nicht näher untersucht. Die getroffenen Aussagen beziehen sich auf die im Technikumsmaßstab durchgeführten Untersuchungen unter den dokumentierten Versuchsbedingungen [66] [41] [70]. Da das Filtrationsergebnis und vor allem die Standzeiten der Filter sehr stark abhängig von der Gesamtverschmutzung und der Partikelgrößenverteilung im zu filternden Truböl sowie von der Betriebsweise der Filter sind, können die Ergebnisse in Praxisanlagen von den im

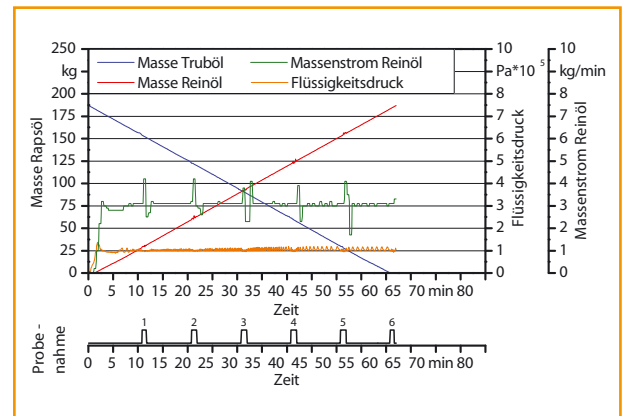


Abb. 48: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filbertechnik Jäger

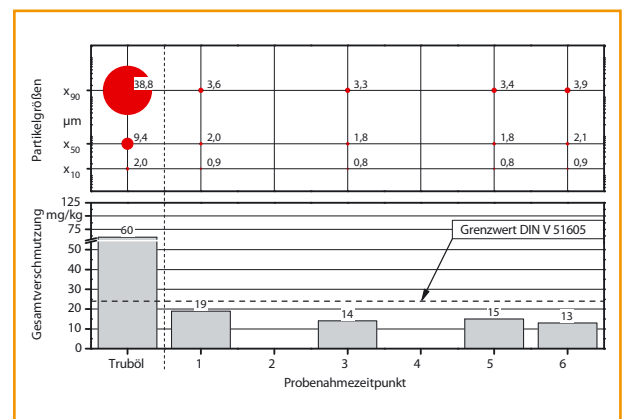


Abb. 49: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filbertechnik Jäger



Versuch erzielten Ergebnissen abweichen. Aus ökonomischer Sicht muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen Rückhaltevermögen des Endfilters und den Beschaffungskosten für den Filter sowie der Standzeit des Filters. Angaben der Hersteller zu Filterstandzeiten von Endfiltern bei der Filtration von Rapsölkraftstoff sind lediglich Richtwerte, da die Filterstandzeiten stets von der Partikelfracht (Anzahl und Größenverteilung) im zu filternden Öl abhängig sind.

Neben „festen“ Verunreinigungen können in Ölen, zum Teil erst nach längerer Lagerzeit, sogenannte Trübungsstoffe sichtbar werden, siehe hierzu auch Kapitel 4.3.5.1, S. 20. Bei längerer Lagerung können sich die Trübungsstoffe absetzen und bilden beispielsweise einen weißlichen Bodenbelag. Treten Trübungsstoffe auf, müssen diese Rapsölchargen nochmals sorgfältig gefiltert werden.

Zu hohe Gesamtverschmutzung im Rapsölkraftstoff zählt zu den häufigsten Reklamationsursachen. Deshalb wird die Filtration von Rapsölkraftstoff bei jedem Umschlag empfohlen.

5.11 Vergällung

Falls eine Vergällung von Rapsölkraftstoff erforderlich ist, wird gemäß der Vornorm DIN V 51605 eine Zumischung von Rapsölmethylester nach DIN EN 14214 bis zu einer Konzentration von maximal 2,9 Masse-% empfohlen. Ist eine geeignete Mischeinrichtung nicht vorhanden, sollte zur Gewährleistung der Homogenität der Mischung Rapsölmethylester mit Rapsölkraftstoff aufgemischt werden. Eine Vergällung von Rapsölkraftstoff mit Dieselloskraftstoff ist gemäß der Vornorm DIN V 51605 nicht zulässig.

5.12 Öllagerung

Bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff muss darauf geachtet werden, Oxidation, Hydrolyse, Polymerisation und enzymatischen Abbau des Öls zu vermeiden, siehe hierzu auch Kapitel 7, S. 51. Rapsölkraftstoff sollte deshalb möglichst bei konstant niedrigen Temperaturen zwischen 5 und 10°C sowie dunkel, zum Beispiel in einem Erdtank, gelagert werden. Der Zutritt von Wasser durch Niederschläge oder Kondensation muss vermieden und der Kontakt mit (Luft-)Sauerstoff sollte, zum Beispiel durch geringe Kontaktflächen, minimiert werden. Rapsölkraftstoff, der gelagert werden soll, sollte außerdem einen möglichst geringen Anteil an Verunreinigungen

aufweisen, damit ein enzymatischer Abbau und eine Schmutzanreicherung durch Sedimentation am Boden des Lagertanks unterbunden wird. Bei sehr guten Lagerungsbedingungen kann ein qualitativ hochwertiges Rapsöl bis zu zwölf Monate sicher gelagert werden. Bei ungünstigen Bedingungen, zum Beispiel bei Lagerung im Freien unter Einfluss wechselnder Sonneneinstrahlung und Temperaturen, kann die Oxidationsstabilität bereits nach drei Monaten unter die Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 absinken.

Die Lagerfähigkeit von Rapsölkraftstoff wurde in umfangreichen Lagerungsversuchen über einen Zeitraum von 18 Monaten untersucht [70]. Variiert wurde die Kraftstoffqualität und -zusammensetzung, das Tankmaterial (Stahl, Edelstahl „V2A“, Polyethylen „PE“), die Lagerungsbedingungen (lichtgeschützt bei 5°C, lichtgeschützt bei 20°C und Lagerung ungeschützt im Freien „Tagesgang“) sowie der Gasaustausch (gasdicht verschlossen, Umgebungsluft und getrocknete Umgebungsluft). Abbildung 50, Abbildung 51 und Abbildung 52 zeigen, wie sich die Oxidationsstabilität von Rapsölkraftstoff aus Winterraps bei verschiedenen Lagerungsbedingungen ändert. Negativ beeinflusst wird die Oxidationsstabilität vor allem durch hohe Temperaturen. Aber auch Lichteinstrahlung verringert die Oxidationsstabilität.

Rapsölkraftstoff aus High-Oleic-Sommerraps weist aufgrund des spezifischen Fettsäuremusters eine gegenüber Winterrapsarten erhöhte Oxidationsstabilität auf. Dadurch ergeben sich bei ungünstigen Lagerungsbedingungen, wie Abbildung 53 in Vergleich zu Abbildung 50 zeigt, gewisse Vorteile. Setzt bei oxidationsstabilem High-Oleic-Rapsöl jedoch aufgrund ungünstiger Lagerungsbedingungen die Autoxidation ein, beginnt eine Kettenreaktion, die auch bei diesen Ölen zu einer schnellen Abnahme der Oxidationsstabilität führt. Bei günstigen Lagerungsbedingungen, dargestellt in Abbildung 54, bleibt die hohe Oxidationsstabilität über einen langen Zeitraum erhalten. Rapsölkraftstoff aus Winterraps vergällt mit RME hat, vermutlich aufgrund des Anteils an Antioxidantien im RME, zum Teil günstigere Lagereigenschaften hinsichtlich der Oxidationsstabilität als ein nicht vergällter Kraftstoff. Einfache Maßnahmen zur Entfeuchtung des Luftüberstands im Tank sollten ergriffen werden. Hingegen erscheint ein gasdichter Abschluss des Tankinhalts oder das Überlagern des Rapsölkraftstoffs mit Stickstoff in den meisten Fällen als unverhältnismäßig.

Als Materialien für die Lagerbehälter eignen sich Stahl oder Edelstahl sowie unter Einschränkungen Kunststoffe, wie High-Density-Polyethylen (HDPE), siehe hierzu auch Kapitel 4.3.9, S. 29. Katalytisch wir-

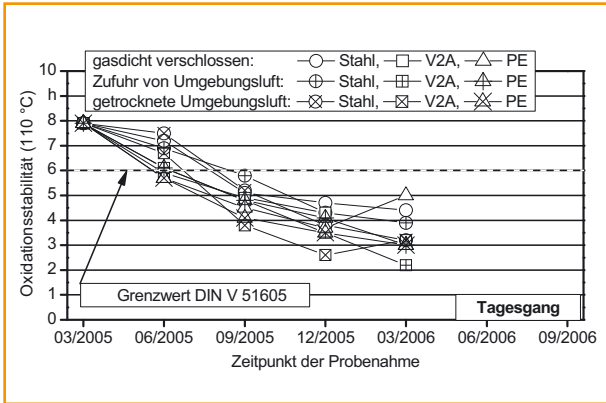


Abb. 50: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterrapss unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei ungeschützter Lagerung im Freien

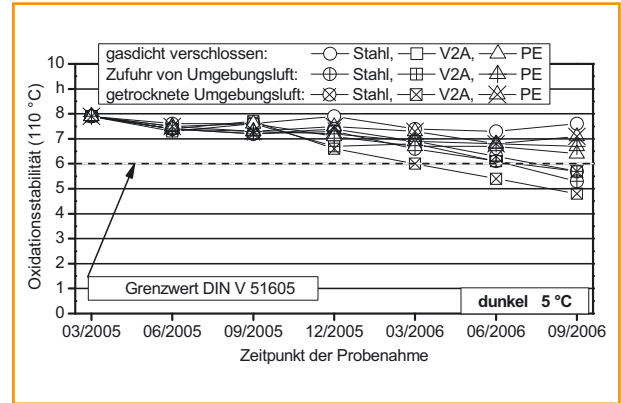


Abb. 52: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterrapss unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 5 °C

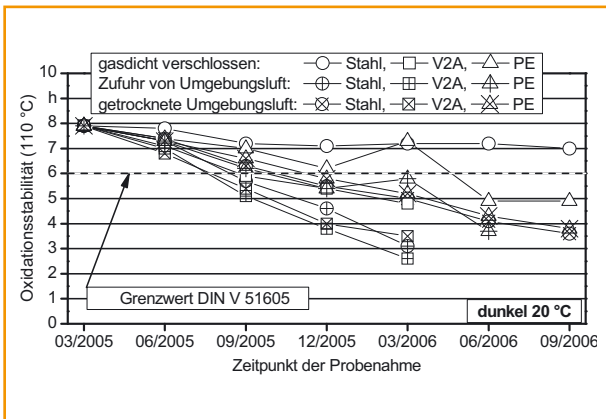


Abb. 51: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterrapss unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 20 °C

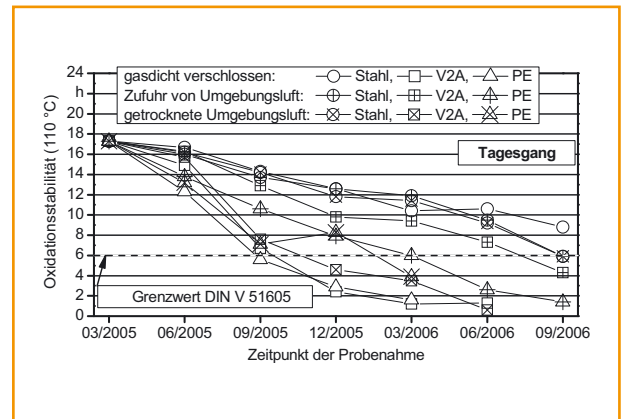


Abb. 53: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerrapss unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei ungeschützter Lagerung im Freien

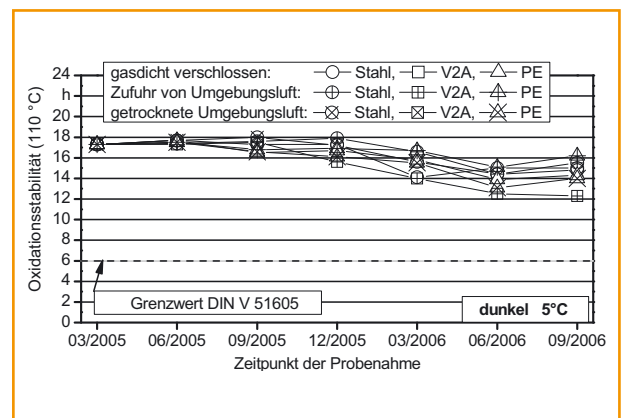


Abb. 54: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerrapss unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 5 °C

kende Metalle, wie zum Beispiel Kupfer [90], auch als Bestandteil in Legierungen, sind unbedingt zu vermeiden. Behälter aus lichtdurchlässigen Kunststoffen sollten nur in dunkler Umgebung aufgestellt werden. Die Lagerbehälter müssen dicht verschließbar sein, um einen Wasserzutritt auszuschließen. Bei der Tankbefüllung und während der Lagerung ist die Bildung von Kondenswasser, hervorgerufen zum Beispiel durch große Temperaturunterschiede zwischen der Luft im Tank und dem Tankinhalt, zu vermeiden. Gegebenenfalls ist die Tankbelüftung mit einem Wasser abscheidenden Filter auszustatten. Erdtanks sind oberirdischen Tanks auf Grund der Temperaturkonstanz vorzuziehen. Lagertanks müssen regelmäßig gereinigt werden. Nur absolut trockene Lagertanks dürfen wieder mit Rapsölkraftstoff befüllt werden.

Wie bereits erwähnt ist es ratsam, bei der Rapsölkraftstoffproduktion mindestens drei verschiedene Lagertanks einzusetzen. Ein Lagertank nimmt Rapsölkraftstoff aus der laufenden Produktion auf,



ein zweiter Lagertank enthält Rapsölkraftstoff aus der vorangegangenen Produktion, dessen Inhalt zu einem späteren Zeitpunkt nach Vorliegen der Kraftstoffanalyse zur Abgabe freigegeben wird und ein dritter Lagertank bevorratet Rapsölkraftstoff zur Abgabe an die Kunden, dessen Inhalt aufgrund der bereits vorliegenden Kraftstoffanalyse freigegeben wurde.

Beim Betrieb von Lageranlagen und Abfüllplätzen für Rapsölkraftstoff sind die bundes- und landesrechtlichen Vorgaben zu beachten. Dazu zählen Baurecht, Wasserrecht, Gewerberecht und Umweltrecht. In der Regel gilt: Für auftretende Umweltschäden haftet der Betreiber! Nähere Informationen dazu wurden von der Universität Rostock erarbeitet und werden von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. im Internet unter <http://www.bio-kraftstoffe.info> bereitgestellt. Wertvolle Hinweise für den Umgang mit Rapsölkraftstoff lassen sich auch aus den entsprechenden Merkblättern für Biodiesel, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. (<http://www.agqm-biodiesel.de>), entnehmen.

5.13 Transport von Rapsölkraftstoff

Beim Transport von Rapsölkraftstoff, zum Beispiel in Tankfahrzeugen, ist darauf zu achten, dass es zu keiner Vermischung mit anderen Kraftstoffen (Otto-Kraftstoff, Diesel-Kraftstoff, Biodiesel) oder Lebens- und Futtermitteln kommt. Werden mit dem Fahrzeug unterschiedliche Produkte transportiert, ist vor der Befüllung das Reinigungsprotokoll des Fahrzeugs zu kontrollieren. Abbildung 55 zeigt, dass bereits bei einer Zumischung von 0,5 Masse-% Otto- oder Diesel-Kraftstoff der Grenzwert für den Flammpunkt von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 un-

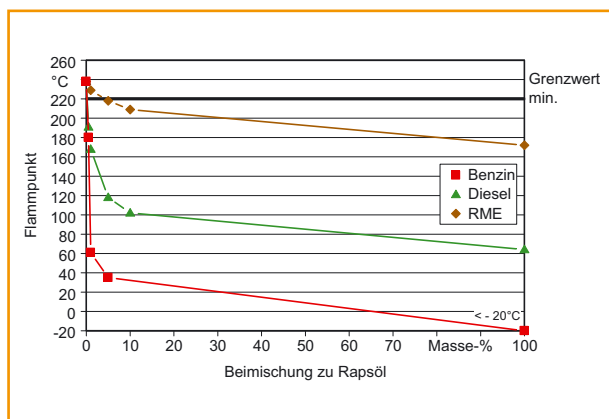


Abb. 55: Flammpunkt (DIN EN 22719) von Mischungen von Rapsölkraftstoff mit Benzol, Dieseldieselkraftstoff und Rapsölmethylester [67]

terschritten wird. Rapsölkraftstoff darf gemäß der Vornorm DIN V 51605 keine Anteile an Otto- oder Dieseldieselkraftstoff enthalten. Mischungen von Rapsölkraftstoff mit Otto- oder Dieseldieselkraftstoff müssen gegebenenfalls als Gefahrgut behandelt werden.

5.14 Abgabe von Rapsölkraftstoff

Abgabestellen für Rapsölkraftstoff müssen regelmäßig gewartet und auf ihre Funktion überprüft werden. Die gesetzlich vorgegebenen Eichintervalle müssen eingehalten werden. Der Verkauf von Rapsölkraftstoff darf nur mit Hilfe gültig geeichter Messgeräte erfolgen, siehe hierzu auch Kapitel 10.4, S. 69. Eine regelmäßige Überprüfung der Rapsölkraftstoffqualität an der Abgabestelle ist erforderlich. Vor der Abgabe von Rapsölkraftstoff an Kunden ist auf die Sauberkeit der Abfüllstelle (zum Beispiel Zapfpistole) zu achten. Wurde über einen längeren Zeitraum an der Zapfstelle kein Rapsölkraftstoff abgegeben, sollte vor der Abgabe an den Kunden ein entsprechendes Volumen Rapsölkraftstoff verworfen werden.

Wird Rapsölkraftstoff in vom Kunden bereit gehaltene Lagergebinde abgefüllt, sollte geprüft werden, ob die Lagerbehälter sauber und trocken sind oder ob sich noch Restmengen im Lagertank befinden. Sind die Gebinde nicht sauber und trocken oder noch teilweise gefüllt und der Kunde wünscht dennoch die Befüllung der Behälter, sollte dies, zum Beispiel auf dem Lieferschein, notiert werden. Dieser Vermerk sollte sowohl vom Kraftstoffhersteller als auch vom Kunden unterzeichnet werden. In diesem Falle empfiehlt es sich, stets Rückstellmuster der ausgelieferten Ware zu erstellen, siehe hierzu auch Kapitel 6.3, S. 48.

Qualitätssicherung für Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen



Die Qualitätssicherung für Rapsölkraftstoff muss sich als Minimalziel an den Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 ausrichten, siehe hierzu auch Kapitel 7.2, S. 51. Für den Betreiber einer Ölmühle ist es jedoch ratsam, innerbetrieblich höhere Qualitätsstandards als Ziel für die Kraftstoffproduktion festzulegen. Dadurch verringert sich die Gefahr, dass Kraftstoffchargen nicht mehr verkauft werden können, weil sie beispielsweise durch die Lagerung bis zum Zeitpunkt des Verkaufs an Qualität eingebüßt haben und deshalb Überschreitungen von Grenzwerten festgestellt werden. Zudem sind bei der Vorgabe der innerbetrieblichen Standards die Messfehler der in der Norm vorgegebenen Prüfverfahren zu berücksichtigen. Wie bereits in Tabelle 7 gezeigt, sind die

Qualitätsparameter Dichte, Flammpunkt, Kinematische Viskosität, Heizwert und Zündwilligkeit bei der Kraftstoffproduktion nicht beeinflussbar. Die Kennwerte Koksrückstand und Iodzahl sind bei der Kraftstoffproduktion nur bedingt beeinflussbar.

Folgende, in Tabelle 8 gezeigten Grenzwerte sollten als innerbetriebliche Zielvorgabe für die Kraftstoffqualität mindestens eingehalten werden. Wird bei der Produktion die in Tabelle 8 vorgeschlagene Kraftstoffqualität sichergestellt, kann der Kraftstoffhersteller mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass bei einer Überprüfung der Qualität durch Dritte bei gegebenem Messfehler der Prüfverfahren die Anforderungen der DIN V 51605 eingehalten werden.

Tabelle 8: Vorschlag für innerbetriebliche Grenzwerte für die Produktion von Rapsölkraftstoff

Kennwert	Prüfverfahren	Einheit	Grenzwert nach DIN V 51605	innerbetrieblicher Grenzwert für die Produktion	
				min.	max.
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662	mg/kg	24		16
Säurezahl	DIN EN 14104	mg KOH/g	2,0		1,96
Oxidationsstabilität	DIN EN 14112	h	6	7,1	
Phosphorgehalt	DIN EN 14107	mg/kg	12		10,6
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	Masse-%	0,075		0,064
Schwefelgehalt	DIN EN 20884	mg/kg	10		8,2
Summe Calcium-/Magnesiumgehalt	DIN EN 14538	mg/kg	20		17,5

6.1 Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Maßnahmen zur Qualitätssicherung begleitend zum Produktionsprozess sollen dazu dienen, dass das entstehende Endprodukt den vorgegebenen Anforderungen mit hoher Wahrscheinlichkeit entspricht. Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff umfassen deshalb:

- Kontrolle und Dokumentation des Rapsanbaus
- Kontrolle und Dokumentation der Ernte der Rapssaat
- Kontrolle und Dokumentation des Transports der Rapssaat
- Kontrolle und Dokumentation (Rapssorte, Ausreifung, Anteil Bruchkorn, Anteil Besatz, Anteil Auswuchs, Anteil freier Fettsäuren (FFA-Gehalt)) der Rapssaat
 - bei der Ernte
 - nach der Reinigung
 - vor der Trocknung
 - vor der Einlagerung
- Kontrolle und Dokumentation der Rapssaat-Reinigung
- Kontrolle und Dokumentation der Rapssaat-Trocknung
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands des Lagers
- Kontrolle und Dokumentation der Rapssaat-Lagerung (Temperaturen, Belüftung/Kühlung, Verunreinigungen)
- Kontrolle und Dokumentation der Rapssaat bei der Auslagerung und vor der Verarbeitung
- Kontrolle und Dokumentation der Saatreinigung vor der Ölsaatenverarbeitung und des Zustands des Magnetabscheiders
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands (Funktion, Verschleiß, Sauberkeit) der Ölpresse
- Kontrolle und Dokumentation der Prozessparameter bei der Ölpresung
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Apparate zur Hauptreinigung (Sedimentationsbehälter, Filterapparate, Filtermittel, Filterhilfsmittel)
- Kontrolle und Dokumentation der Prozessparameter bei der Hauptreinigung
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Apparate zur Endfiltration
- Kontrolle und Dokumentation der Prozessparameter bei der Endfiltration
- Kontrolle und Dokumentation der Vergällung (falls erforderlich)
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Lagertanks für Rapsölkraftstoff

- Kontrolle und Dokumentation der Lagerbedingungen für Rapsölkraftstoff
- Beprobung produzierter Rapsölkraftstoffchargen und Herstellung von Mustern zur Analyse und von Rückstellmustern
- Dokumentation der Rapsölkraftstoffanalysen
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Auslieferungsfahrzeuge
- Kontrolle und Dokumentation des Zustands der Abfüllstelle
- Kontrolle und Dokumentation der Rückstellmuster
- Dokumentation der Massenströme von Rapssaat und Rapsölkraftstoff zur Nachweisführung beim zuständigen Hauptzollamt und bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

6.2 EDV-gestützter Maßnahmenkatalog zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff

Für den Aufbau eines einzelbetrieblichen Qualitätsmanagements für die Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen steht auf Basis der Software Microsoft® Office Excel ein EDV-gestützter Maßnahmenkatalog zur Verfügung. Darin sind auf Formularblättern Maßnahmen zum Erreichen der erforderlichen Produktqualität für Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 zusammengestellt. Außerdem werden Formulare zur Dokumentation der Verfahrensschritte vorgeschlagen. Abbildung 56 zeigt die Startseite der EDV-Anwendung.

Der Maßnahmenkatalog ist, wie Abbildung 56 zeigt, in zwölf Teilbereiche untergliedert: Ernte der Rapssaat, Transport der Ernteware, Reinigung, Trocknung und Kühlung der Rapssaat, Rapssaatlagerung nach der Ernte, Annahme der Rapssaat zur Lagerung bei der Verarbeitung, Kontrolle der Rapssaat im Lager vor der Verarbeitung, Pressung der Rapssaat, Reinigung des erzeugten Öls, Lagerung des erzeugten Öls, Lagerung des anfallenden Presskuchens, Vermarktung des gelagerten Öls und Vermarktung des gelagerten Presskuchens.

Abbildung 57 zeigt beispielhaft das Formularblatt „Rapssaatlagerung“ aus dem EDV-gestützten Maßnahmenkatalog zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff.

Die genannten Teilbereiche enthalten Tabellenblätter und Formulare, die sowohl direkt in der EDV-Anwendung ausgefüllt als auch ausgedruckt und von Hand bearbeitet werden können. Für Ölmühlenbetreiber besteht die Möglichkeit, anhand dieser


Qualitätsmanagement bei der Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen		 Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
– Anforderungen an Produktion, Transport und Lagerung von Rapssaat, Rapsölkraftstoff und Presskuchen		
01 Ernte der Rapssaat		07 Pressung der Rapssaat
02 Transport der Ernteware		08 Reinigung des erzeugten Öls
03 Reinigung, Trocknung und Kühlung der Rapssaat		09 Lagerung des erzeugten Öls
04 Rapssaatlagerung nach der Ernte		10 Lagerung des anfallenden Presskuchens
05 Annahme der Rapssaat zur Lagerung bei der Verarbeitung		11 Vermarktung des gelagerten Öls
06 Kontrolle der Rapssaat im Lager vor der Verarbeitung		12 Vermarktung des gelagerten Presskuchens

Abb. 56: Maßnahmenkatalog auf Basis von Microsoft® Excel für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 – Startseite

„Navigation“	Formblatt „Lagerdokumentation, Teil 1/2“	Annahme der Rapssaat zur Lagerung bei der Verarbeitung (05)	
Rapssaatlagerung nach der Ernte (04)			
Allgemeines zur Einlagerung der Rapssaat			
Herkunft der Rapssaat	Hausacker	Lagerform: Hochsilo	
Sorte	Talent	Material: Stahl + Holz	
Rapssaatmenge	9,0 t	Lagerbezeichnung: Hochsilo 1	
Besatz der Rapssaat	0,9 Masse-%	Standort des Lagers: Lagerhalle / Position 1 nach Lageplan	
Feuchte der Rapssaat	7,0 Masse-%	Die Rapssaat befindet sich im Lager ohne Schüttkegel? <input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Temperatur der Rapssaat	11,0 °C	Generell wird empfohlen, die Rapssaatlagerung, alle durchgeführten Maßnahmen und damit verbundenen Informationen lückenlos zu dokumentieren. Dies kann z.B. anhand eines Formblattes erfolgen, wie es unter der folgenden Internetadresse heruntergeladen werden kann:	
Die Rapssaat ist lagerfähig?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	http://www.lfl.bayern.de/iem/qualitaetsicherung/16090/linkurl_0_0_0_54.pdf	
Eine Bearbeitung ist nötig?	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	Auf diese Weise kann im Rahmen der Rückverfolgbarkeit von Rohstoff- bzw. Produktströmer die Einhaltung geforderter Produktionsstandards belegt und u.U. später vorgehaltenes Fehlverhalten widerlegt werden.	
(vgl. „Reinigung, Trocknung und Kühlung der Rapssaat“)			
Datum der Einlagerung	02.08.06		
Uhrzeit	14:00		
Durchführung	Name, Vorname		
Über die auf dem genannten Formblatt vorgeschlagene Dokumentation hinaus sollte für die Lagerung von Rapssaat folgendes berücksichtigt werden:			
Kontrolle der Rapssaatterperatur		Kontrolle der Rapssaatfeuchte	
Saattemperatur-Grenzwert für Lagerung	≤ 12 °C	Saatfeuchte-Grenzwert für Lagerung	≤ 7 Masse-%
ermittelte Saattemperatur	13,0 °C	ermittelte Saatfeuchte	8,5 Masse-%
Datum	06.08.06	Datum	06.08.06
Uhrzeit	10:00	Uhrzeit	10:00
Durchführung	Name, Vorname	Durchführung	Name, Vorname
Die Rapssaat ist lagerfähig?	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	Die Rapssaat ist lagerfähig?	<input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein
Eine Kühlung ist nötig?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	Eine Trocknung ist nötig?	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Eine Befuchtung der Rapssaat durch Wasser aller Art ist während der gesamten Lagerdauer ausgeschlossen?		Sicht- und Geruchsprüfung	
		frei von Auswuchs	
		<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
		frei von Verunreinigungen aller Art	
		<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
		saatiger Geruch, nicht muffig	
		<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	
Auslagerung der Rapssaat		Notizen:	
Datum der Auslagerung	31.10.06		
Lagerdauer	90 Tage		
Durchführung	Name, Vorname		
Empfänger der Rapssaat	Name, Vorname		
Datum: _____ Unterschrift: _____			

Abb. 57: Formularblatt „Rapssaatlagerung“ aus dem EDV-gestützten Maßnahmenkatalog für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605



Vorlagen ein eigenes Qualitätsmanagement aufzubauen. Es ist jedoch zu beachten, dass betriebsindividuell zum Beispiel Zuständigkeiten, Kommunikationswege, Prüfverfahren (sofern nicht schon festgelegt), Schulungsmaßnahmen für die zuständigen Personen usw. ergänzt werden müssen.

Die Datei kann von den Internetseiten des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) unter <http://www.tfz.bayern.de> heruntergeladen werden.

6.3 Beprobung und Dokumentation der Rapsölkraftstoffqualität

Rapsölkraftstoff darf nur dann in den geschäftlichen Verkehr gebracht werden, wenn mindestens die Anforderungen der DIN V 51605 erfüllt sind ^[15]. Wird bei der Abgabe von Rapsölkraftstoff durch den Ölmühlenbetreiber zum Beispiel auf dem Lieferschein oder der Rechnung Bezug auf die Vornorm DIN V 51605 genommen, so haftet der Rapsölkraftstoffhersteller für die Einhaltung der beschriebenen Qualität (Produkthaftungsgesetz). Außerdem ist eine Steuerentlastung bei der Energiesteuer für Rapsöl als Biokraftstoff an die Einhaltung der Vornorm DIN V 51605 gekoppelt, siehe hierzu auch Kapitel 10.1, S. 66. Deshalb muss es ein Anliegen des Rapsölkraftstoffherstellers sein, dass zur eigenen Absicherung die Rapsölkraftstoffqualität regelmäßig, typischerweise chargenbezogen repräsentativ beprobt und durch Laboranalysen überwacht und dokumentiert wird. Wie bereits in Kapitel 4.3.9, S. 29 erläutert, sollten für die Lagerhaltung von Rapsölkraftstoff mindestens drei Lagertanks vorgehalten werden.

Das Ziel der Probenahme von Rapsölkraftstoff für einen Qualitätsnachweis ist, eine Teilmenge aus der Kraftstoffgesamtmenge zu entnehmen, die repräsentativ für die Gesamtmenge ist. Mit der Prüfung dieser Probe auf die erforderlichen Kennwerte kann die Gesamtkraftstoffmenge beurteilt werden. Im laufenden Produktionsprozess kann eine Probenahme aber auch zu dem Zweck erfolgen, dass nur eine Teilmenge der Gesamtmenge beurteilt werden soll. Dadurch lassen sich beispielsweise Erkenntnisse über die Zusammensetzung des Sediments (Bodensatzes) in einem Lagerbehältnis oder über die Funktion der Filtrationsanlage gewinnen. Außerdem kann durch gezielte Probenahme Ursachenforschung betrieben werden, wenn es zu Überschreitungen der Grenzwerte der DIN V 51605 kommt. Wichtig ist deshalb neben der richtigen Entnahme einer Probe, die Probe auch mit den nötigen Informationen zu versehen, nämlich, wann, von wem, wie und was entnommen

wurde. Die DIN EN ISO 3170 „Flüssige Mineralölzeugnisse – Manuelle Probenahme“ und die beiden Normen DIN 51750 „Prüfung von Mineralölen – Probenahme“ Teil 1 „Allgemeines“ und Teil 2 „Flüssige Stoffe“ bilden auch die Grundlage für die Probenahme von Rapsölkraftstoff. Sie beschreiben den Ablauf der Entnahme von Ölproben. Dabei kann sich der Kraftstoff in ruhendem (zum Beispiel in einem Tank) oder strömendem Zustand (zum Beispiel in einer Kraftstoffleitung) befinden. Folgende Probenarten werden in Anlehnung an DIN 51750-1 unterschieden:

- Einzelprobe
Die Einzelprobe wird an einer örtlich abgegrenzten Stelle entnommen. Unterschieden wird nach der Schicht, aus der die Probe entnommen wird in:
 - Oberflächenprobe
(0–5 cm unter der Oberfläche)
 - Obenprobe
(15 cm unter der Oberfläche)
 - Oberschichtprobe
(Mitte des oberen Drittels der Gesamthöhe)
 - Mittelschichtprobe
(50 % unter der Gesamthöhe der Oberfläche)
 - Unterschichtprobe
(Mitte des unteren Drittels der Gesamthöhe)
 - Bodenprobe
(aus dem untersten Bereich)
 - Auslaufprobe
(Auslaufstutzen oder Zapfeinrichtung)
- Allschichtenprobe/Durchzugsprobe (alle Schichten über die Gesamthöhe)
- Hauptstromprobe (Mischung aus Proben aus dem Auslauf)
- Nebenstromprobe (Abzweig eines Nebenstroms, aus einer Leitung)
- Sammelprobe (Probenmischung)
- Durchschnittsprobe (Probenmischung aus proportionalen Teilen)

Soll aus einer Zapfeinrichtung, zum Beispiel an einer Tankstelle, eine Probe entnommen werden, wird der Kraftstoff über die Zapfeinrichtung falls möglich unmittelbar in das Aufnahmegefäß geleitet. Ein ausreichender Vorlauf, mindestens 10 l, ist vor der eigentlichen Probenahme zu verwerfen. Dadurch wird eine Verfälschung der Probe durch Rückstände in der Zapfanlage vermieden.

Die Probenahme soll von einer erfahrenen Person durchgeführt werden, die entsprechend dem Probenzweck entscheidet, wie die Probe zu entnehmen ist. Für die repräsentative Probenahme ist es wichtig, geeignete Probenahmegeräte zu verwenden. Zum Einsatz können offene Stechheber, Verschlussstechheber, Tauchflaschen, Tauchbomben oder Schöpfer

kommen. Mangelnde Sorgfalt bei der Probenahme wird meist erst über das Analysenprotokoll aufgedeckt und verursacht unnötige Kosten.

Für die interne Qualitätskontrolle ist es ausreichend, von jeder Probe ein Rückstellmuster mit gleichem Volumen anzulegen. Soll die Kraftstoffqualität gegenüber einem Kunden abgesichert werden, müssen drei Rückstellmuster angelegt werden. Eine Probe verbleibt beim Kunden, eine Probe verbleibt beim Rapsölkraftstoffproduzenten und die dritte Probe wird im Reklamations- oder Streitfall an ein Prüflabor zur Analyse gegeben. Alle Ölproben sind zu versiegeln und von beiden Vertragspartnern zu unterzeichnen.

Jede entnommene Probe ist ausführlich zu beschriften. Folgende Angaben sind für die Dokumentation wichtig: Proben-Nummer, Adresse des Rapsölkraftstoffproduzenten, gegebenenfalls Adresse des Kunden, Ort und Stelle der Probenahme, Art der Probenahme, Ort, Datum, Zeit und Unterschriften. Abbildung 58 zeigt ein Formular für die Beschriftung beziehungsweise Dokumentation von Rapsölkraftstoffproben.

Anschrift des Probenehmers:		.....
	
	
Probe-Nr.:		.....
aus Lieferung von:		.....
entnommen aus (Behälter und Nr.):		.....
Produktionszeitpunkt:		.....
Art der Probenahme:		
<input type="checkbox"/> Oberflächenprobe	<input type="checkbox"/> Allschichtenprobe	
<input type="checkbox"/> Obenprobe	<input type="checkbox"/> Hauptstromprobe	
<input type="checkbox"/> Oberschichtprobe	<input type="checkbox"/> Nebenstromprobe	
<input type="checkbox"/> Mittelschichtprobe	<input type="checkbox"/> Sammelprobe	
<input type="checkbox"/> Unterschichtprobe	<input type="checkbox"/> Durchschnittsprobe	
<input type="checkbox"/> Bodenprobe	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Auslaufprobe	.....
Erzeugnis / Sorte:		.....
Menge (Volumen und Anzahl Proben):		.....
Probenahmegerät:		.....
Probenahmeort:		.....
Genauere Bezeichnung der Probenahmestelle:		.....
Datum:		.....
Uhrzeit:		.....
Unterschrift Probenehmer:		.....
Unterschrift Kunde:		.....

Abb. 58: Musterformular für die Dokumentation von Rapsölkraftstoffproben

Als Probengefäße haben sich Weithalsflaschen aus HDPE (High-Density Polyethylen) mit einem Volumen von 2 l für Vollanalysen nach der Vornorm DIN V 51605 und 1 l für Teilanalysen bewährt. Falls die Cetanzahl im Prüfmotor bestimmt werden soll,

sind gegebenenfalls noch größere Probenvolumen erforderlich. Die Probengefäße sollten dicht verschließbar sein und vollständig befüllt werden. Da HDPE aber nicht völlig wasserundurchlässig ist, sollten Proben, die eine exakte Bestimmung des Wassergehaltes erfordern, in Braunglasflaschen abgefüllt werden. Gegebenenfalls sollten die Flaschen mit einem Originalitätsverschluss versehen sein oder entsprechend versiegelt werden. Gebrauchte Getränkeflaschen oder ähnliches sind als Probenflaschen völlig ungeeignet. Die Lagerung von Proben und Rückstellmustern sollte dunkel und kühl (ungefähr 5 °C), zum Beispiel in einem Kühlschrank erfolgen, um Alterungsprozesse zu minimieren.

Zumindest einmal pro Jahr sollte die Qualität von Rapsölkraftstoff über eine Vollanalyse aller Parameter der Vornorm DIN V 51605 dokumentiert werden. Für den Nachweis der Kraftstoffqualität gegenüber der Biokraftstoffquotenstelle beziehungsweise den Hauptzollämtern sind die Vorgaben des Bundesministeriums für Finanzen zu beachten, siehe hierzu auch Kapitel 10.1, S. 66. In den entsprechenden Erlassen wird geregelt, wie oft ein Nachweis zu führen ist. Die 36. BImSchV [13] schreibt vor, welche Normparameter zu untersuchen sind. Für die laufende innerbetriebliche Qualitätsüberprüfung empfiehlt es sich aus Kostengründen, nur die aus der Betriebs erfahrung heraus bekannten, häufigen Schwankungen unterlegenen Parameter zu untersuchen. Dies sind in der Regel die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium, die Säurezahl, die Oxidationsstabilität, der Wassergehalt und die Gesamtverschmutzung.

Es ist empfehlenswert, die Analysen von erfahrenen Labors, zum Beispiel von einem akkreditierten Labor für Pflanzenölkraftstoff, untersuchen zu lassen. Akkreditierte Prüflabors können im Internet unter der Adresse des Deutschen Akkreditierungsrats <http://www.dar.bam.de> in der Datenbank „Akkreditierte Stellen“ mit dem Suchbegriff „Pflanzenöl“ im Sachgebiet „B37“ recherchiert werden. Das Bundesministerium für Finanzen stellt an zertifizierende Labore die Anforderung, dass diese jährlich an mindestens einem Ringversuch teilnehmen und die Ergebnisse gegenüber der zuständigen Stelle offen legen. Nähere Informationen erteilt die Biokraftstoffquotenstelle.

Im Entwurf für eine Neufassung der „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen (10. BImSchV)“ – Stand Mai 2009 – [14] werden, unter Berücksichtigung der Messfehler der Prüfverfahren für Rapsölkraftstoff, siehe hierzu auch Kapitel 7.2, S. 51, die in Abbildung 59 zu-



sammengestellten Ablehnungsgrenzwerte für Rapsölkraftstoff festgelegt. Eine Rapsölkraftstoffcharge kann erst dann mit 95%iger Wahrscheinlichkeit ab-

gelehnt werden, wenn ein oder mehrere Parameter bei der Analyse der Rapsölkraftstoffprobe außerhalb dieser Ablehnungsgrenzwerte liegen.

Anlage 8

Prüfprotokoll zur Überwachung der Einhaltung von Anforderungswerten bei einmaliger Prüfung von Rapsölkraftstoff nach DIN V 51605:2006

überprüfte Firma :

Probenbehälternummer :

Nr	Eigenschaft	Prüfverfahren	Bem.	Einheit	Ablehnungsgrenzwert		Prüf-Ergebnis
					min	max	
1	Visuelle Begutachtung				Frei von sichtbaren Verunreinigungen und Sedimenten sowie freiem Wasser		
2	Dichte bei 15°C	DIN EN ISO 3675:1999	a	kg/m ³	899,3	930,7	-----
		DIN EN ISO 12185:1997		kg/m ³	899,7	930,3	-----
3	Flammpunkt Pensky Martens	DIN EN ISO 2719:2003		°C	211		
4	Kinematische Viskosität bei 40 °C	DIN EN ISO 3104:1999		mm ² /s		36,4	
5	Heizwert	DIN 51900-1:2000, DIN 51900-2:2003, DIN 51900-3:2005		kJ/kg	35764		
6	Zündwilligkeit	--	b		--		
7	Koksrückstand	DIN EN ISO 10370:1995	c	%(m/m)		0,48	
8	Iodzahl	DIN EN 14111:2003		g(Iod)/100g	92		-----
							128
9	Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20846:2004		mg/kg		11,3	-----
		DIN EN ISO 20884:2004				11,8	-----
10	Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662:1998		mg/kg		32	
11	Säurezahl	DIN EN 14104:2003		mg KOH/g		2,04	
12	Oxidationsstabilität, 110 °C	DIN EN 14112:2003		Stunden	4,9		
13	Phosphor-Gehalt	DIN EN 14107:2003	d	mg/kg		13,4	
14	Gehalt an Erdalkali (Summe Ca + Mg)	DIN EN 14538:2006	d	mg/kg		22,5	
15	Asche-Gehalt (Oxid-Asche)	DIN EN ISO 6245:2003		%(m/m)		0,013	
16	Wassergehalt	DIN EN ISO 12937:2002		%(m/m)		0,086	

Anmerkungen

- a) Bezüglich der Temperaturumrechnung auf 15 °C aus bei anderen Temperaturen bestimmten Werten siehe Abschnitt 5.6.4 von DIN V 51605
Die Anwendbarkeit der vorhandenen Verfahren zur Bestimmung der Zündwilligkeit wird z.Z. noch geprüft; es liegen daher z.Z. noch keine vollständig abgesicherten Präzisionsdaten für den in der Norm genannten Grenzwert von 39 vor. Siehe hierzu auch Abschnitt 5.5. von DIN V 51605. Ein Ablehnungsgrenzwert kann daher z. Z. noch nicht angegeben werden.
- b) Die Prüfung ist an der Gesamtprobe und **nicht** am 10% Destillationsrückstand vorzunehmen.
- c) Abweichend von den Vorgaben in DIN EN 14107 (Phosphor) bzw. in DIN EN 14538 (Erdalkali) ist die Bestimmung mit einer 1:5 Verdünnung des Probenteils vorzunehmen. Dies ist entsprechend in den Berechnungen und Ergebnisabgaben zu berücksichtigen.

Abb. 59: Ablehnungsgrenzwerte für Rapsölkraftstoff –vorläufig Stand Mai 2009– gemäß Entwurf für eine Neufassung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen (10. BImSchV) [14]

Eigenschaften von Rapsölkraftstoff

7.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

Aus chemischer Sicht ist Rapsöl eine Mischung verschiedener Glycerinester aus dem Alkohol Glycerin und langkettigen Carbonsäuren, sogenannten Fettsäuren. In der Regel sind drei Fettsäure-Reste mit dem Glycerinmolekül verestert. Pflanzenöle werden daher als Triglyceride bezeichnet. Aus dem Aufbau der Moleküle leiten sich die Kraftstoffeigenschaften sowie die tribologischen Eigenschaften ab, wie zum Beispiel das gute Reibungsverhalten von Rapsöl, aber auch die im Vergleich zu Mineralöl erhöhte Reaktionsneigung mit Wasser und Sauerstoff. Abbildung 60 zeigt ein Triglycerid mit Beispielen für reaktive Bindungen.

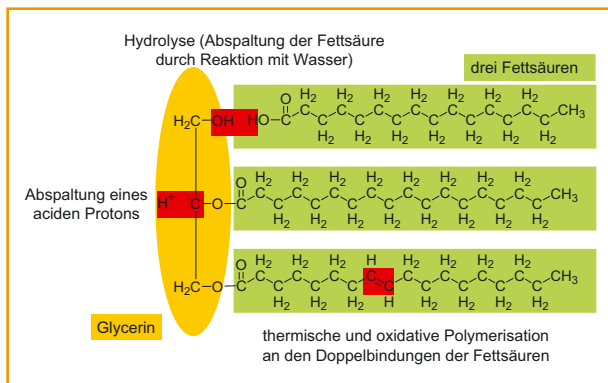


Abb. 60: Beispiele reaktiver Bindungen eines Triglycerids

Wasser kann im Pflanzenöl ein Abspalten von Fettsäuren (Hydrolyse) bewirken, wodurch die Viskosität (Zähflüssigkeit) des Öls herabgesetzt wird. Freie Fettsäuren sind reaktionsfreudig und können zum Beispiel mit Werkstoffen reagieren oder zu Polymerisation (Vernetzung von Ölmolekülen) führen, was einen Viskositätsanstieg zur Folge hat. Die Hydrolyse ist andererseits förderlich für einen schnellen biologischen Abbau der Pflanzenöle.

Doppelbindungen zwischen den Kohlenstoffatomen der Fettsäuren (ungesättigte Fettsäuren) neigen

zur Reaktion mit anderen Atomen oder Molekülen. Thermische, oder aber auch oxidative Polymerisation tritt auf, wenn durch hohe Temperaturen beschleunigt oder durch Vorhandensein von Sauerstoff diese Reaktionen ablaufen. An den Doppelbindungen können zum Beispiel Sauerstoff oder Fettsäuren gebunden werden. Ein Beispiel hierfür ist das Aushärten von Leinölfirnis an der Luft. Thermische oder oxidative Polymerisation führt demnach zu einem Viskositätsanstieg. Je mehr Doppelbindungen vorhanden sind, desto „flüssiger“ ist ein Fett, jedoch umso anfälliger ist es gegenüber Polymerisation und Oxidation. Die Möglichkeit, Doppelbindungen von Fettsäuren zu „sättigen“, wird zum Beispiel bei der Margarineherstellung genutzt. Das (flüssige) Pflanzenöl wird durch Hydrierung (Anlagerung von Wasserstoff an die Doppelbindungen der veresterten Fettsäuren) zu (fester) Margarine.

Eine weitere reaktive Bindung liegt am mittleren C-Atom des Glycerins vor. Das Wasserstoffatom kann leicht abgespalten werden (Proton-Abspaltung). Dies führt zur Versäuerung des Öls und zu einem Viskositätsanstieg, wenn andere Moleküle an das Triglycerid gebunden werden.

7.2 Vornorm DIN V 51605 Rapsölkraftstoff

Ein verlässlicher Betrieb von Verbrennungsmotoren ist nur möglich, wenn wichtige Eigenschaften und Inhaltsstoffe des Kraftstoffs definiert sind. Diese müssen in ihrer Schwankungsbreite bestimmte Grenzen einhalten, andernfalls können keine Garantie und Gewährleistung für einen sicheren Motorenbetrieb oder die Einhaltung bestimmter Emissionsgrenzwerte gegeben werden. Definierte Kraftstoffqualitäten sind außerdem für die Beurteilung des Betriebsverhaltens und die Weiterentwicklung von Motoren erforderlich. Die Beschreibung der Kraftstoffqualität durch die Verwendung einheitlicher Kennwerte (Kenngrö-

ßen, Eigenschaften) und Prüfverfahren ermöglicht gegebenenfalls eine Optimierung des Kraftstoffs. Die vergleichende Untersuchung des Emissionsverhaltens von Motoren ist darüber hinaus nur möglich, wenn einheitliche Kraftstoffqualitäten („Referenzkraftstoffe“) verwendet werden. Schlussendlich ist eine definierte Kraftstoffqualität Grundlage für den Handel mit Kraftstoff.

Unter Federführung des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) wurde im Jahr 1996 begonnen, die erforderliche Qualität von Rapsölkraftstoff für den Einsatz in pflanzenötauglichen Motoren zu definieren und abschließend in dem „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) 05/2000“ [65] [67] zusammenzufassen.

Im Herbst 2003 wurde beim Deutschen Institut für Normung e.V. der Unterausschuss 632.2 „Prüfung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenötaugliche Motoren“ im Normenausschuss Materialprüfung eingerichtet. Die Zielsetzung des Unterausschusses war zunächst die Erarbeitung einer Vornorm für Rapsölkraftstoff für den Einsatz in pflanzenötauglichen Motoren. Im Normungsausschuss vertreten sind Dieselmotorenhersteller, Landmaschinenhersteller, Hersteller und Umrüster pflanzenötauglicher Motoren, Rapsölkraftstoffproduzenten (industrielle und dezentrale Ölmühlen), Rapsölkraftstoffhändler, Schmierstoffhersteller, Analytiklabors, Behörden und Verbände sowie Forschungseinrichtungen.

Als Grundlage für die Normungsarbeiten diente der RK-Qualitätsstandard. Viele seit der Veröffentlichung des RK-Qualitätsstandards gewonnenen Erkenntnisse zur Rapsölkraftstoffqualität sowie deren Auswirkung auf das Betriebs- und das Emissionsverhalten sind in das Vorhaben eingeflossen. Die Mindestanforderungen für Rapsölkraftstoff werden zunächst in einer nationalen Norm festgeschrieben. Die nationalen Arbeiten können jedoch bei Bedarf als Basis für ein künftiges europäisches Verfahren dienen. Die nationalen Normungsgremien der europäischen Staaten wurden über das Vorhaben informiert. Der Normungsausschuss sprach sich dafür aus, sich in einem ersten Schritt auf eine Rohstoffquelle „Rapsöl“ zu beschränken und nicht „Pflanzenöle“ als Normungsgegenstand zu wählen, da für die Vielzahl weiterer Pflanzenöle in Reinform oder in Mischungen bisher zu wenige Erfahrungen für den Einsatz in pflanzenötauglichen Motoren vorliegen. Der Anwendungsbereich der in der Vornorm definierten Kraftstoffqualität beschränkt sich auf den Einsatz in pflanzenötauglichen Motoren. Das bedeutet, dass für den Einsatz von Rapsölkraftstoff in nichtadaptierten Motoren, auch als Mischkomponente mit anderen Kraftstoffen, keine Aussagen getroffen werden.

Der Entwurf der Vornorm DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenötaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen“ wurde im Juni 2005 veröffentlicht. Bis zum 30.09.2005 bestand die Möglichkeit den Norm-Entwurf zu kommentieren. Anschließend wurden die Einsprüche behandelt und gegebenenfalls in die Vornorm eingearbeitet. Zum 01.07.2006 wurde schließlich die Vornorm DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenötaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren“ [29] veröffentlicht. Damit wird der „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) 05/2000“ von der Vornorm DIN V 51605 abgelöst.

Folgende Festlegungen werden unter anderem in der Vornorm getroffen: Die Herstellung von Rapsölkraftstoff kann sowohl durch mechanische Extraktion ohne oder auch mit Lösungsmittelextraktion erfolgen. Das bedeutet, sowohl sogenanntes kaltgepresstes Rapsöl als auch durch Lösungsmittelextraktion gewonnenes und raffiniertes Rapsöl kann als Rapsölkraftstoff Verwendung finden, falls die Anforderungen der Vornorm eingehalten werden. Dabei darf Rapsölkraftstoff gemäß Definition keine vorausgegangene Nutzung erfahren haben, wodurch zum Beispiel gebrauchte Frittieröle oder Hydrauliköle und Schmierstoffe auf Basis von Rapsöl als Rohstoffquelle ausgeschlossen werden. Falls bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff aus Rapssaat von Stilllegungsflächen eine Vergällung erforderlich wird, darf dem Rapsölkraftstoff maximal 2,9 Masse-% Rapsölmethylester (Anforderungen für Rapsölmethylester nach DIN EN 14214) zugemischt werden. Eine Vergällung mit Dieselmotorenkraftstoff ist nicht zulässig, da ansonsten nach der Mischungsregel eine Einstufung von Rapsölkraftstoff in eine Wassergefährdungskategorie vorgenommen werden müsste. Eine Aditivierung von Rapsölkraftstoff wird durch die Vornorm nicht ausgeschlossen, jedoch dürfen die zugesetzten Additive die Einstufung von Rapsölkraftstoff als „nicht wassergefährdend“ nicht beeinträchtigen. Das Kälteverhalten von Rapsölkraftstoff („Wintertauglichkeit“) wird in der Vornorm nicht mit einem Grenzwert festgelegt, da Maßnahmen zur Adaption von Seriidieselmotoren an Rapsölkraftstoff, die hauptsächlich das Temperatur-/Viskositätsverhalten betreffen, auch die Wintertauglichkeit beeinflussen. In der Vornorm DIN V 51605 sind Änderungen bei den Grenzwerten der Kenngrößen Gesamtverschmutzung, Oxidationsstabilität, Schwefelgehalt und Phosphorgehalt im Vergleich zum „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ vollzogen. Eine visuelle Begutachtung sowie ein Summenparameter für den Calcium- und Magnesiumgehalt wurden berücksichtigt.

Die Vornorm DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenöläugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren“, siehe Abbildung 61, kann beim Beuth-Verlag GmbH, 10772 Berlin oder im Internet unter <http://www.beuth.de> bezogen werden.

Neben den qualitätsbestimmenden Kennwerten und den dazugehörigen Grenzwerten sind in der Vornorm DIN V 51605 auch die Prüfverfahren für die einzelnen Parameter festgelegt. Bei der Interpretation von Kraftstoffanalysen, insbesondere bei der Beurteilung ob eine Qualität normkonform oder nicht-normkonform ist, muss beachtet werden, dass jedes Prüfverfahren einen gewissen Messfehler aufweist. Die Messgenauigkeit der Prüfverfahren wird durch die Wiederholbarkeit „r“ und die Vergleichbarkeit „R“ beschrieben. Jedes genormte Prüfverfahren enthält Angaben zur Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse, bezogen auf den Anwendungsbereich des Prüfverfahrens. Die Wiederholbarkeit „r“ ist das Maß für die Übereinstimmung zwischen unabhängigen Ergebnissen, die bei einer

üblichen und korrekten Durchführung desselben Prüfverfahrens an identischen Proben in kurzen Zeitintervallen unter den gleichen Prüfbedingungen, wie zum Beispiel gleicher Bearbeiter und gleiche Apparatur, ermittelt wurden. Die Vergleichbarkeit „R“ ist das Maß für die Übereinstimmung zwischen einzelnen Prüfergebnissen, die bei einer üblichen und korrekten Durchführung desselben Prüfverfahrens an identischen Proben, aber unter unterschiedlichen Prüfbedingungen, wie zum Beispiel verschiedene Bearbeiter, verschiedene Geräte oder verschiedene Laboratorien, ermittelt wurden [28]. Aus den Angaben zur Vergleichbarkeit „R“ der Prüfverfahren lassen sich sowohl die Ablehnungsgrenzwerte, siehe Abbildung 59, S. 50 als auch innerbetriebliche Grenzwerte für die Produktion, siehe hierzu Tabelle 8, S. 45, berechnen. Für die Berechnung wird ein 95 % Sicherheitsniveau unterstellt.

Zur Rechtsverbindlichkeit von DIN-Normen trifft das DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2007) [31] folgende Aussagen: „DIN-Normen bilden

Ablehnungsgrenzwert	= Grenzwert des Kennwertes $\pm 0,59 \cdot R$
Innerbetrieblicher Grenzwert für die Produktion	= Grenzwert des Kennwertes $\pm 0,59 \cdot R$

Für den Kennwert Gesamtverschmutzung, mit dem Grenzwert max. = 24 mg/kg und der Vergleichbarkeit R = 13,2 mg/kg, ergeben sich demnach folgende alternative Grenzwerte:

Ablehnungsgrenzwert	= 24 mg/kg + 0,59 · 13,2 mg/kg	= 32 mg/kg
Innerbetrieblicher Grenzwert für die Produktion	= 24 mg/kg - 0,59 · 13,2 mg/kg	= 16 mg/kg

Für den Kennwert Oxidationsstabilität, mit dem Grenzwert min. = 6 h und der Vergleichbarkeit R = 1,79 h, berechnen sich folgende Grenzwerte:

Ablehnungsgrenzwert	= 6 h - 0,59 · 1,79 h	= 4,9 h
Innerbetrieblicher Grenzwert für die Produktion	= 6 h + 0,59 · 1,79 h	= 7,1 h

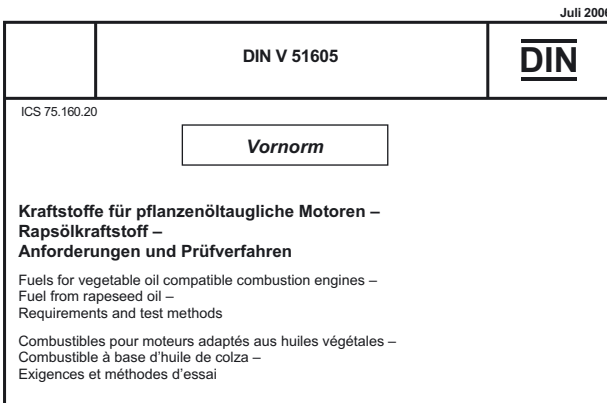


Abb. 61: Die Vornorm DIN V 51605 „Rapsölkraftstoff“ [29]

einen Maßstab für einwandfreies technisches Verhalten, und sind im Rahmen der Rechtsordnung von Bedeutung. DIN-Normen stehen jedermann zur Anwendung frei. Das heißt, man kann sie anwenden, muss es aber nicht. DIN-Normen werden verbindlich durch Bezugnahme, zum Beispiel in einem Vertrag zwischen privaten Parteien oder in Gesetzen und Verordnungen. Der Vorteil der einzelvertraglich vereinbarten Verbindlichkeit von Normen liegt darin, dass sich Rechtsstreitigkeiten von vornherein vermeiden lassen, weil die Normen eindeutige Festlegungen sind. Die Bezugnahme in Gesetzen und Verordnungen entlastet den Staat und die Bürger von

rechtlichen Detailregelungen. Auch in den Fällen, in denen DIN-Normen von Vertragsparteien nicht zum Inhalt eines Vertrages gemacht worden sind, dienen DIN-Normen im Streitfall als Entscheidungshilfe, wenn es im Kauf- und Werkvertragsrecht um Sachmängel geht. Hier spricht der Beweis des ersten Anscheins für den Anwender der Norm in dem Sinne, dass er die im Verkehr erforderliche Sorgfalt beachtet hat. DIN-Normen sind jedoch keine Lehrbücher. Deshalb muss jemand, der sie anwendet, soviel Sachverstand haben, dass er die Verantwortung für sein Handeln selbst übernehmen kann.“

Die Mitglieder des Unterausschusses 632.2 „Prüfung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren“ haben beschlossen, die Vornorm zügig zu einer Norm weiter zu entwickeln. Dazu ist es jedoch erforderlich, weitere Erfahrungen mit der Vornorm zu sammeln.

7.3 Kraftstoffkennwerte

Im Folgenden wird die Bedeutung der in der Vornorm DIN V 51605 aufgeführten Qualitätsparameter näher erläutert ^[67].

Aschegehalt (Oxidasche)

Der Aschegehalt, oder Oxidaschegehalt, beschreibt den Anteil anorganischer Feststoffe im Kraftstoff. Hohe Aschegehalte können zum Beispiel durch Eintrag von Staub in den Kraftstoff verursacht werden. Mit zunehmendem Aschegehalt steigt die Gefahr, dass Abrasion in der Einspritzpumpe, in den Einspritzdüsen und im Brennraum auftritt. Außerdem können Abgasnachbehandlungssysteme wie Oxidationskatalysatoren und Rußpartikelfilter in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Der Aschegehalt wird bestimmt durch Entzünden und Abbrennen einer Probe bis Asche und Kohlenstoff zurückbleiben. Der Rückstand wird in einem Muffelofen verascht, gekühlt und gewogen.

Calciumgehalt

Der Calciumgehalt in Rapsöl wird hauptsächlich durch die Saatqualität und die Prozessführung bei der Ölsaatenverarbeitung beeinflusst. Calcium kann zu Ablagerungen im Brennraum, an Einspritzdüsen und Ventilen führen, die Funktionalität von Katalysatoren beeinflussen sowie als Aschebildner Rußpartikelfilter verstopfen.

Cetanzahl

Die Cetanzahl ist ein Maß für die Zündwilligkeit von Dieselkraftstoff. Die Messung der Cetanzahl erfolgt

in einem genormten Einzylinder-Prüfmotor (CFR- oder BASF-Prüfmotor) unter jeweils konstantem Zündverzug zwischen Kraftstoffeinspritzung und Verbrennungsbeginn. Der CFR-Motor und der BASF-Motor unterscheiden sich in der Art und Weise, wie der Zündverzug konstant gehalten wird. Ermittelt wird zunächst die Motoreinstellung für den zu messenden (Diesel-)Kraftstoff, bei welcher der vorgegebene Zündverzug erreicht wird. Zum Vergleich wird ein Kraftstoffgemisch aus Cetan ($C_{16}H_{34}$) und α -Methyl-Naphtalin ($C_{11}H_{10}$) herangezogen, das diese entsprechende Motoreinstellung erfordert. Für den Vergleichskraftstoff Cetan ist die Cetanzahl 100 definiert, für α -Methyl-Naphtalin, die Cetanzahl 0. Eine Mischung aus x % Cetan und $(100-x)$ % α -Methyl-Naphtalin entspricht einer Cetanzahl x des Dieselkraftstoffs.

Für die Ermittlung der Zündwilligkeit von Pflanzenölkraftstoff steht kein geeigneter Prüfmotor beziehungsweise keine geeignete Prüfvorschrift zur Verfügung. Ein alternatives Prüfverfahren zur Bestimmung des Zündverzugs und der abgeleiteten Cetanzahl (ACZ) in einer Verbrennungskammer mit konstantem Volumen ^[32] erscheint für die Anwendung bei Pflanzenölen vielversprechend ^[17].

Kraftstoffe mit geringer Zündwilligkeit (Cetanzahl) bewirken einen höheren Zündverzug, was ein schlechteres Kaltstartverhalten, höhere Druckspitzen und damit höhere Abgas- und Geräuschemissionen zur Folge haben kann. Untersuchungen für Dieselkraftstoff zeigen, dass mit steigender Cetanzahl die NO_x -Emissionen zurück gehen.

Dichte

Die gemessene Dichte dient zur Ermittlung der Masse eines Kraftstoffvolumens bei einer bestimmten Temperatur. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt, also zunehmender Kettenlänge, und steigender Anzahl Doppelbindungen nimmt die Dichte zu. Der Handel mit Kraftstoff wird zumeist volumenbezogen abgewickelt. Anhand der Dichte lassen sich Pflanzenöle voneinander unterscheiden und zum Teil Zumischungen von anderen Kraftstoffen zu Rapsölkraftstoff feststellen.

Flammpunkt

Der Flammpunkt ist die gemessene Temperatur bei der in einem geschlossenen Gefäß sich Dämpfe entwickeln, die zu einem durch Fremdzündung entflammaren Dampf-Luft-Gemisch führen. Der Flammpunkt hat vor allem Bedeutung bei der Einstufung von Flüssigkeiten in Gefahrenklassen. Entsprechend der Gefahrenklasse müssen Sicherheitsvorkehrungen für Lagerung und Transport getroffen

werden. Bereits geringfügige Mischungen verschiedener Kraftstoffe, zum Beispiel durch den Transport, haben Abweichungen vom charakteristischen Flammpunkt zur Folge.

Gesamtverschmutzung

Die Gesamtverschmutzung ist der Massenanteil ungelöster Fremdstoffe (Partikel) im Kraftstoff. Die Bestimmung erfolgt durch Filtration der Probe über eine Membran mit einer mittleren Porenweite von 0,8 µm. Der Rückstand wird mit einem Lösungsmittel gewaschen, anschließend getrocknet und gewogen. Hohe Fremdstoffgehalte führen zu Filterverstopfung, Verstopfung von Einspritzdüsen und verursachen möglicherweise Abrasion an Einspritzpumpe und -düsen sowie Ablagerungen im Verbrennungsraum. Das Prüfverfahren DIN EN 12662 weist eine unzureichende Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit bei der Analyse von Rapsölkraftstoff auf.

Heizwert

Der Heizwert (früher auch unterer Heizwert genannt) gibt die Energie an, die bei der vollständigen Verbrennung eines Stoffes pro Volumen oder Masse freigesetzt wird, wenn die Verbrennungsprodukte auf die Bezugstemperatur zurückgekühlt werden, ohne jedoch die Energie aus der Kondensation des Wasserdampfs zu berücksichtigen. Der Brennwert (früher auch oberer Heizwert genannt) hingegen bezieht zusätzlich die bei der Kondensation des Wasserdampfs abgegebene Energie ein. Der Heizwert errechnet sich aus dem Brennwert abzüglich der Verdampfungswärme des Wassers. Die Messung des Heizwerts erfolgt im Bombenkalorimeter. Für die Beschreibung von Kraftstoffen wird der für die motorische Verbrennung relevante Heizwert herangezogen.

Iodzahl

Die Iodzahl ist ein Maß für die Anzahl an Doppelbindungen der Fettsäuremoleküle. Der Kennwert gibt an, wie viel Gramm Iod von 100 g Öl oder Fettsäuren gebunden werden. Die Bestimmung der Iodzahl erfolgt durch Titration. Je niedriger die Iodzahl ist, desto höher ist der Sättigungsgrad der Moleküle. Die Iodzahl ist ein charakteristisches Merkmal für unterschiedliche Pflanzenöle. Sie gibt Aufschluss über die Neigung zu Ablagerungen im Brennraum und an Einspritzdüsen bei der motorischen Verbrennung. Außerdem erhöht ein zunehmender Anteil ungesättigter Fettsäuren die Gefahr der Polymerisation des Motorenöls, wenn der Kraftstoff in das Motorenöl eingetragen wird. Über die Iodzahl lässt

sich auch die Gefahr des oxidativen Verderbs des jeweiligen Pflanzenöls während der Lagerung abschätzen.

Koksrückstand

Durch Verschwelen der letzten 10 % des Destillationsrückstands wird der Koksrückstand von Diesellokstoff und FAME ermittelt. Da bei der Destillation von Pflanzenölen Crack-Prozesse einsetzen, kann die Bestimmung des Koksrückstands nicht an den letzten 10 % des Destillationsrückstands durchgeführt werden. Bei Pflanzenöl erfolgt die Bestimmung des Koksrückstands an der Gesamtprobe. Die Koksrückstandsbestimmung simuliert die Verbrennung von Kraftstoff an einer Oberfläche ohne Sauerstoff. Der Koksrückstand besteht aus organischen und anorganischen Bestandteilen und ist ein Maß für die Verkokungsneigung des Kraftstoffs an den Einspritzdüsen und Rückstandsbildung im Verbrennungsraum. Kraftstoffadditive, wie zum Beispiel Zündbeschleuniger, können den Koksrückstand erhöhen und zu Fehlinterpretationen führen.

Magnesiumgehalt

Der Magnesiumgehalt wird wie der Calciumgehalt in Rapsöl hauptsächlich durch die Saatqualität und die Prozessführung bei der Ölsaatenverarbeitung beeinflusst. Magnesium kann Ablagerungen im Motor bilden, die Funktionalität von Katalysatoren beeinflussen und durch Ascheablagerungen Rußpartikelfilter verstopfen. Magnesium liegt in der Regel in deutlich geringeren Konzentrationen als Calcium und Phosphor im Rapsöl vor.

Oxidationsstabilität

Bei der Lagerung von Kraftstoffen können Oxidations- und Polymerisationsvorgänge einsetzen, die zur Bildung unlöslicher Verbindungen führen und dadurch Filterverstopfung hervorrufen können. Außerdem können zwischen dem gealterten Kraftstoff und dem Motorenöl Wechselwirkungen auftreten, wenn unverbrannter Kraftstoff in das Motorenöl eingetragen wird. Die Oxidationsstabilität von Diesellokstoff wird gemessen, indem über 16 Stunden bei einer Temperatur von 95 °C in einem offenen Gefäß der Kraftstoff mit 3 l/h Sauerstoff belüftet wird. Anschließend wird der Anteil löslicher und unlöslicher Harzstoffe bestimmt. Die Oxidationsstabilität von Rapsöl wird bestimmt, indem bei konstanter Temperatur in einem geschlossenen Gefäß ein gereinigter Luftstrom durch die Kraftstoffprobe geleitet wird. Die freiwerdenden flüchtigen Zersetzungsprodukte werden in ein Gefäß mit entmineralisiertem oder destilliertem Wasser überführt, in dem die Leitfähigkeit



gemessen wird. Der Messwert für die Oxidationsstabilität ist das Ende der Induktionsperiode, nach der es zu einem schnellen Anstieg der Leitfähigkeit durch die Zersetzungsprodukte kommt. Die Oxidationsstabilität ist ein Kennwert, der den Alterungszustand und gleichzeitig die Lagerfähigkeit von Rapsölkraftstoff beschreibt.

Phosphorgehalt

Phosphor liegt in Pflanzenölen in Form von Phospholipiden vor. Mit steigendem Anteil an Phospholipiden verringert sich die Oxidationsstabilität, außerdem neigen Phospholipide zur Hydratisierung (Quellung in Wasser) und können dadurch zum Beispiel Filterverstopfung hervorrufen. Phosphor senkt die Verbrennungstemperatur, kann im Brennraum, an Ventilen und Einspritzdüsen zu Ablagerungen führen und möglicherweise eine Änderung des Emissionsverhaltens hervorrufen. Katalysatoren weisen zudem eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Phosphorverbindungen hinsichtlich ihrer Umsetzrate beziehungsweise Dauerfunktion auf. Aschen aus der Verbrennung phosphorhaltiger Verbindungen können den Rußpartikelfilter verstopfen.

Säurezahl

Die Säurezahl ist ein Maß für den Gehalt an freien Fettsäuren im Pflanzenöl und beschreibt die Menge Kalilauge, die für die Neutralisation der freien Fettsäuren erforderlich ist. Die Säurezahl ist stark vom Raffinationsgrad und dem Alterungsgrad eines Öles abhängig. Durch Wasser im Öl sowie Mikroorganismen und Enzyme, kann eine hydrolytische Spaltung der Triglyceride auftreten und zu einem Anstieg der Säurezahl führen. Saure Verbindungen im Kraftstoff führen zu Korrosion, Verschleiß und Rückstandsbildung im Motor. Freie Fettsäuren können außerdem mit basischen Komponenten des Motorenöls reagieren.

Schwefelgehalt

Rapsöl weist einen von Natur aus geringen Schwefelgehalt auf, der jedoch durch die Saatlagerung beeinflusst werden kann. Bei der Kraftstoffverbrennung werden mehr als 95 % des Schwefels zu SO_2 umgesetzt. Der verbleibende Schwefel wird an Partikel angelagert. Im Oxidationskatalysator steigt in Abhängigkeit von Katalysatortyp und Katalysatortemperatur der Anteil des Schwefels, der zu SO_3 umgesetzt wird. Aus SO_3 und Wasserdampf bilden sich Schwefelsäuretröpfchen, die sich am Ruß anlagern und zur Erhöhung der Gesamtpartikelmasse führen. Schwefelverbindungen können sich an die katalytisch aktive Schicht des Katalysators anlagern und bewirken

dadurch eine irreversible Verminderung der Umsetzrate. Katalysatorkonzepte zur Verminderung der Partikelemissionen erfordern deshalb neue Katalysatortechniken oder extrem niedrige Schwefelgehalte im Kraftstoff. Schwefel im Kraftstoff kann außerdem zur Versauerung des Motorenöls beitragen. Der Schwefelgehalt hat auch Auswirkung auf die Lebensdauer des Motors. Die bei der Verbrennung entstehenden sauren Verbindungen führen zu korrosivem Verschleiß. Dem wirken entsprechende Motorenöladditive entgegen, die zur Neutralisierung saurer Reaktionsprodukte eingesetzt werden.

Viskosität

Die Viskosität des Kraftstoffs nimmt Einfluss auf das Förderverhalten und die Zerstäubung des Kraftstoffs an den Einspritzdüsen (Tröpfchenspektrum und Geometrie des Einspritzstrahls). Die Viskosität ist in hohem Maße temperatur- und druckabhängig. Dies ist besonders bei den vorherrschenden hohen Drücken in modernen Einspritzsystemen zu berücksichtigen. Hohe Viskositäten führen durch das verschlechterte Fließ-, Pump- und Zerstäubungsverhalten zu Kaltstartproblemen. Zu geringe Viskositäten erschweren den Heißstart, führen zu Leistungsverlust bei hohen Temperaturen und zu Pumpenverschleiß. Es wird unterschieden zwischen dynamischer Viskosität und kinematischer Viskosität. Bei Kraftstoffen wird die kinematische Viskosität ermittelt. Die kinematische Viskosität ist der Quotient aus der dynamischen Viskosität und der Dichte der Flüssigkeit. Mit dem Viskosimeter nach Ubbelohde wird zum Beispiel die Zeit gemessen, die eine Probenmenge bei einer bestimmten Temperatur benötigt, um durch eine definierte Kapillare zu fließen.

Visuelle Begutachtung

Durch Sichtprüfung kann festgestellt werden, ob starke Verunreinigungen, zum Beispiel durch Feststoffe, und ob freies Wasser in der Kraftstoffprobe vorliegen. Wäre dies der Fall, entspräche die Probe definitiv nicht der DIN V 51605 und somit ließen sich weitere Kosten für die Analyse der anderen Kenngrößen von Rapsölkraftstoff einsparen.

Wassergehalt

Der Wassergehalt im Pflanzenöl wird hauptsächlich durch die Ölsaatenverarbeitung und die Öllagerung beeinflusst. Bei niedrigen Temperaturen führt Wasser durch Kristallbildung möglicherweise zu Filterverstopfung. In modernen Einspritzsystemen kann durch die vorherrschenden hohen Drücke freies Wasser auftreten, das im Einspritzsystem zu Schäden führen kann. An der Grenzschicht zwischen freiem



Wasser und Kraftstoff können Mikroorganismen wachsen, die zur Filterverstopfung führen können. Mikroorganismen beschleunigen außerdem die Ölalterung. Wasser ist die Voraussetzung für das Auftreten hydrolytischer Spaltung. Größere Wassermengen im Kraftstoff können Korrosion verursachen zum Beispiel an der Chromatschicht von verchromten Messing-Komponenten. Dabei kann die Messinglegierung angegriffen werden. Diese wirkt wiederum katalytisch auf Polymerisierungsvorgänge bei Pflanzenöl. Generell ist Wasser bei der motorischen Verbrennung nicht von Nachteil. Bei der Verbrennung von Kraftstoff/Wasser-Emulsionen sinkt die Verbrennungstemperatur, was eine Senkung der NO_x -Emissionen zur Folge hat. Die Wassergehaltsbestimmung erfolgt zum Beispiel durch Titrieren mit Karl-Fischer-Reagenz.

7.4 Ökologische Eigenschaften

Rapsölkraftstoff ist ein Kraftstoff auf Basis eines nachwachsenden Rohstoffs und kann deshalb zum Klimaschutz (Reduzierung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase „Treibhausgase“) beitragen. Rapsölkraftstoff verursacht mit 159 €/t Treibhausgase die geringsten Treibhausgas-Vermeidungskosten aller biogenen Kraftstoffe, mit Ausnahme von Ethanol aus Zuckerrohr und Biodiesel aus Palmöl sowie tierischen Fetten [75]. Rapsölkraftstoff weist zudem die niedrigsten Produktionskosten aller Biokraftstoffe auf Basis heimischer Rohstoffe auf [75]. Die Energie- und Ökobilanzen [38] [44] [49] [52] [64] [79] von Rapsölkraftstoff und dem um die Rapsflächen konkurrierenden Biodiesel kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Vorzüglichkeit, abhängig von den zu Grunde gelegten Szenarien und der gewählten Gewichtung der Bewertungsfaktoren. Den Studien gemeinsam ist jedoch eine positive Energie- und Ökobilanz im Vergleich zu Dieselkraftstoff. Die Energiebilanz mit einem Verhältnis von 0,22 TJ Primärenergie/TJ Brennstoffenergie [44] ist für Rapsölkraftstoff im Vergleich zu anderen Biokraftstoffen äußerst günstig.

Der Bruttokraftstoffenergieertrag beträgt derzeit etwa 1480 l Kraftstoffäquivalent pro Hektar Fläche. Aufgrund züchterischen und produktionstechnischen Fortschritts wird im Jahr 2020 von einem Bruttokraftstoffenergieertrag von etwa 1820 l Kraftstoffäquivalent pro Hektar Fläche ausgegangen [75]. Vergleichende Berechnungen der Flächeneffizienz von Biokraftstoffen berücksichtigen häufig nicht, dass beim Anbau von Raps neben dem Öl als Rohstoff für die Biodiesel- und Rapsölkraftstoffproduktion auch Ex-

traktionsschrot beziehungsweise Presskuchen als Futtermittel anfällt. So wird beispielsweise bei der Produktion von Rapsölkraftstoff oder Biodiesel in einem gekoppelten Nutzungssystem aus der Rapssaat in erster Linie (60–65 Masse-%) hochwertiges Eiweißfuttermittel für die Nahrungsmittelproduktion hergestellt; das gleichzeitig produzierte Rapsöl wird als Rohstoff für die Kraftstoffherstellung genutzt. Von jedem Hektar heimischer Rapsanbaufläche, die für die Kraftstoffproduktion verwendet wird, werden also netto nur 0,35–0,4 ha für die eigentliche Energieträgerproduktion benötigt. Die bereinigte spezifische Flächeneffizienz liegt daher bei umgerechnet über 3.700 l/ha [89]. Die Flächeneffizienz stellt sich auch günstiger dar, wenn berücksichtigt würde, dass das Rapsstroh und der Pressrückstand auch energetisch, zum Beispiel in Biogasanlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden können oder dass Rapsstroh und Pressrückstand einen wertvollen Beitrag für die Humus- und Nährstoffbilanz liefern.

Hervorzuheben sind die sehr guten umweltbezogenen Eigenschaften von Rapsölkraftstoff im Hinblick auf den Boden- und Gewässerschutz: Rapsöl ist nach der Einstufung gemäß der Verwaltungsvorschrift Wasser gefährdende Stoffe VwVwS [6] im Katalog Wasser gefährdender Stoffe (Kenn-Nummer 760 Triglyceride technisch unbehandelt...) als „nicht Wasser gefährdend“ (früher: WGK = 0) eingestuft. Dahinter verbergen sich geringe Gefährdungsmerkmale von Rapsöl bezüglich der akuten oralen oder dermalen Toxizität bei Säugern, der aquatischen Toxizität, der biologischen Abbaubarkeit, des Bioakkumulationspotenzials sowie die Erfüllung zusätzlicher Anforderungen zum Beispiel hinsichtlich einer geringen Wasserlöslichkeit. Rapsölkraftstoff ist daher prädestiniert für den Einsatz in umweltsensiblen Bereichen, wie zum Beispiel in der Land- und Forstwirtschaft, der Schifffahrt sowie zur dezentralen Strom- und Wärmeherzeugung in Wasserschutzgebieten oder in Schutzhütten im Alpenraum. Für den Nutzer von Rapsölkraftstoff ist zudem ein hoher Anwenderschutz gegeben. Nach der Verordnung über brennbare Flüssigkeiten VbF [5] (seit 01.01.2003 aufgehoben und ersetzt durch die BetrSichV – Betriebssicherheitsverordnung [8]) ist Rapsöl nicht in eine Gefahrenklasse eingestuft. Die Sicherheitsvorkehrungen vor allem für den Transport, aber zum Teil auch bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff gestalten sich deshalb in manchen Fällen weniger aufwändig.



8

Qualität von Rapsölkraftstoff aus dezentralen Ölmühlen

Im Zeitraum von Juni 2005 bis September 2006 wurden 39 dezentrale Ölmühlen in Deutschland auf freiwilliger Basis zu sechs Terminen unangekündigt beprobt [70]. Die Proben wurden entweder direkt an einer vorhandenen Zapfanlage einer Tankstelle oder aus einem Lagertank, der als Abgabestelle für den Endverbraucher dient, entnommen. Tabelle 9 fasst die Termine für die Beprobung der Rapsölkraftstoffproduzenten zusammen.

Tabelle 9: Termine für die Beprobung der Rapsölkraftstoffproduzenten

Probenahmezeiträume	
Beprobung 1	27.06. – 08.07.2005
Beprobung 2	05.09. – 16.09.2005
Beprobung 3	28.11. – 09.12.2005
Beprobung 4	06.03. – 17.03.2006
Beprobung 5	06.06. – 16.06.2006
Beprobung 6	11.09. – 22.09.2006

Folgende Ergebnisse geben einen Überblick über die in der Praxis verfügbare Rapsölkraftstoffqualität aus dezentralen Ölmühlen für den Untersuchungszeitraum Juli 2005 bis September 2006.

Säurezahl

Der Grenzwert für die Säurezahl wird von den beprobten Ölmühlen im Regelfall eingehalten. Abbildung 62 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen. Der Mittelwert der Proben liegt bei 1,25 mg KOH/g, der Median bei 1,08 mg KOH/g. Der niedrigste gemessene Wert beträgt 0,09 mg KOH/g, der höchste Wert 5,04 mg KOH/g. 26 Ölmühlen produzierten Rapsölkraftstoff, der bei jeder Analyse den anzustrebenden Grenzwert für die Produktion unterschritt, siehe hierzu auch Kapitel 7.2, S. 51. Die Ölmühlen Nr. 18, 24 und 38 überschritten jeweils bei vier Beprobungen den Ablehnungsgrenzwert. Insgesamt lagen elf Ölmühlen zumindest bei einer Beprobung über dem Ablehnungsgrenzwert.

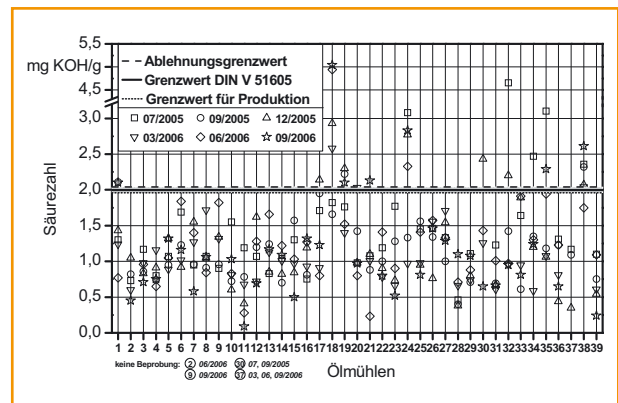


Abb. 62: Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben

Oxidationsstabilität

Der Mittelwert aller gemessenen Proben für die Oxidationsstabilität beträgt 7,6 h, der Median 7,7 h. Die einzelnen Analysewerte für den Kennwert Oxidationsstabilität sind in Abbildung 63 dargestellt. Neun Ölmühlen produzierten stets Rapsölkraftstoff mit einer Oxidationsstabilität über dem anzustrebenden Grenzwert für die Produktion. Drei Ölmühlen unterschritten bei einer Beprobung den Ablehnungsgrenzwert. Die Beprobung 07/2005 wurde aufgrund stark abweichender Analysenergebnisse zwischen

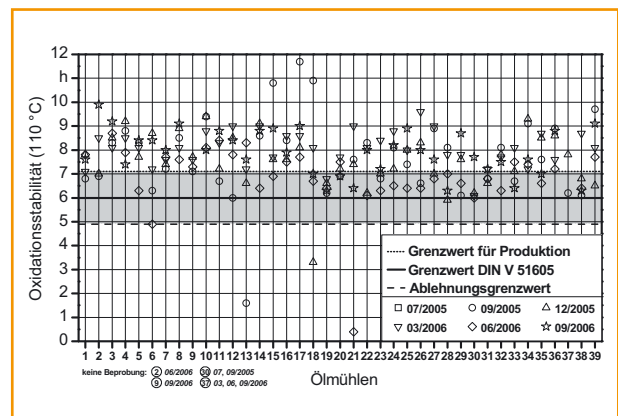


Abb. 63: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben

Originalprobe und Rückstellmuster nicht in die Auswertung miteinbezogen [70].

Wassergehalt

Abbildung 64 zeigt die Analysenergebnisse für den Kennwert Wassergehalt bei den untersuchten Rapsölkraftstoffproben. Der Mittelwert aller analysierten Proben wurde mit 0,0564 Masse-% und der Median mit 0,0550 Masse-% berechnet. Der höchste gemessene Wert beträgt 1,0182 Masse-% und der niedrigste 0,0175 Masse-%. 33 Ölmühlen konnten bei jeder Beprobung den Ablehnungsgrenzwert einhalten. Den Grenzwert für die Produktion unterschritten fünf Ölmühlen bei allen Kraftstoffanalysen. Bei den Beprobungen 06/2006 und 09/2006 wurden im Mittelwert deutlich geringere Wassergehalte analysiert als zu Beginn des Untersuchungszeitraums.

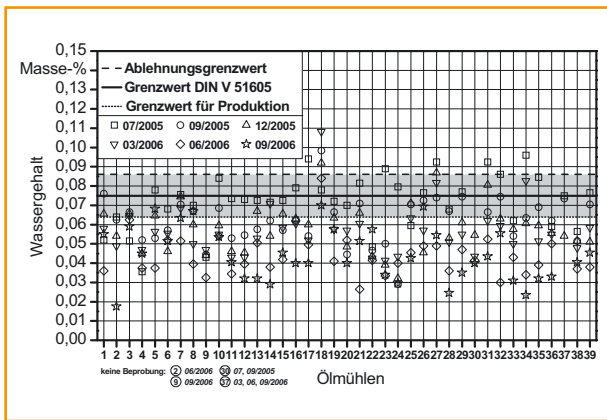


Abb. 64: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben

Gesamtverschmutzung

Die Ergebnisse der Kraftstoffanalysen zum Kennwert Gesamtverschmutzung sind in Abbildung 65 dargestellt. Von 21 der beprobten 39 Ölmühlen wurde zumindest bei einer Beprobung der Abnahmegrenzwert überschritten. Der Mittelwert des Parameters Ge-

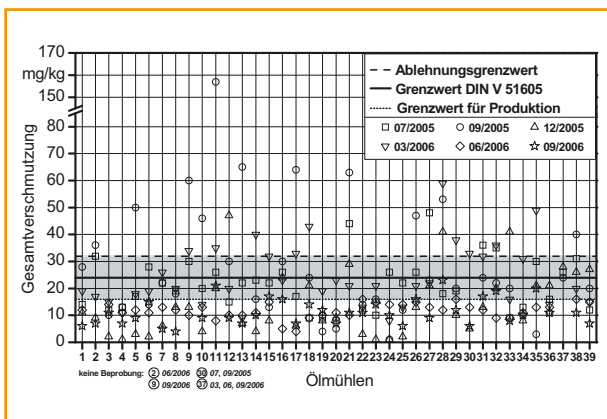


Abb. 65: Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662) der Rapsölkraftstoffproben

samtverschmutzung aller Beprobungen beträgt 19 mg/kg, der Median 15 mg/kg. Während der Beprobungsphase konnte bei den Ölmühlenbetreibern ein zunehmendes Qualitätsbewusstsein verzeichnet werden. Bei den letzten beiden Beprobungen 06/2006 und 09/2006 wurde von allen Ölmühlen der Grenzwert von 24 mg/kg eingehalten. Bei der Beprobung 06/2006 unterschritten sogar alle 37 beprobten Ölmühlen den anzustrebenden Grenzwert für die Produktion in Höhe von 16 mg/kg. 31 Ölmühlen unterschritten diesen Wert bei der Beprobung 09/2006.

Phosphorgehalt

Die Einhaltung des Grenzwerts für Phosphor in Höhe von 12 mg/kg stellt für 24 von 39 beprobten Ölmühlen kein Problem dar. Neun Ölmühlen unterschritten bei jeder Beprobung den anzustrebenden Grenzwert für die Produktion. Der Mittelwert aller analysierten Proben beträgt 9 mg/kg, der Median 8 mg/kg. In Abbildung 66 sind die Phosphorgehalte aller untersuchten Proben dargestellt.

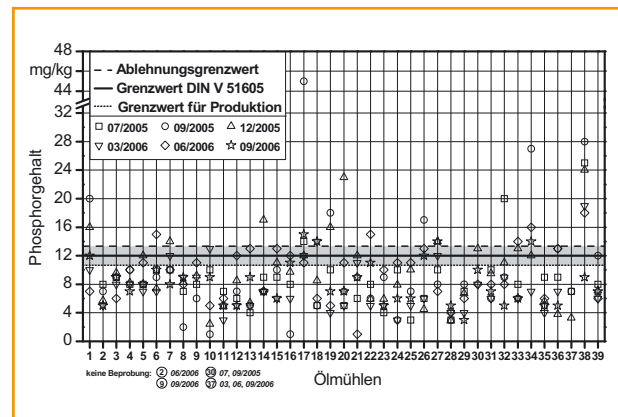


Abb. 66: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben

Summengehalt an Calcium und Magnesium

Der Grenzwert für die beiden Elemente Calcium und Magnesium ist als Summenwert angegeben und beträgt gemäß Vornorm DIN V 51605 20 mg/kg. Der Grenzwert für die Produktion für den Summengehalt an Calcium und Magnesium wurde von fünf Ölmühlen bei jeder Beprobung unterschritten. 19 Ölmühlen hielten stets den Ablehnungsgrenzwert ein. Sehr große Probleme bei der Einhaltung der Anforderungen an den Calcium- und Magnesiumgehalt hatte, wie auch beim Phosphorgehalt, die Ölmühle Nr. 38. Der Mittelwert der Summengehalte an Calcium und Magnesium aller analysierten Proben beträgt 16,4 mg/kg, der Median 15,6 mg/kg. In Abbildung 67 sind die Analysenwerte dargestellt.



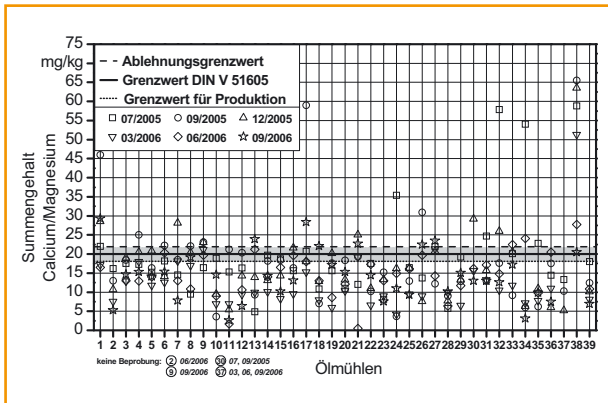


Abb. 67: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben

Schwefelgehalt

Der Grenzwert für den Kennwert Schwefelgehalt wird in aller Regel von den beprobten Ölmühlen eingehalten. 33 von 39 Ölmühlen blieben unter dem Ablehnungsgrenzwert. Elf Ölmühlen erzielten mit allen Kraftstoffproben Analysenwerte für den Schwefelgehalt unter der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens. 27 Ölmühlen konnten den anzustrebenden Grenzwert für die Produktion einhalten. Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 68 dargestellt.

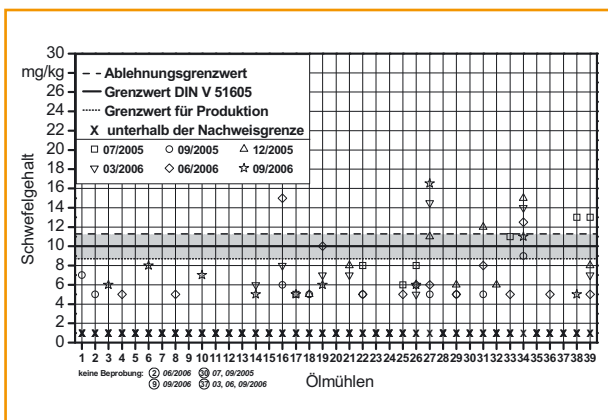


Abb. 68: Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben

Rapsölkraftstoffqualität

Einen Überblick über die Einhaltung der Ablehnungsgrenzwerte für alle sechs Beprobungen gibt Abbildung 69. Bei den ersten drei Beprobungen 07/, 09/ und 12/2005 wurden in Summe über alle Ölmühlen zwischen 29 und 30 Überschreitungen des Ablehnungsgrenzwerts je Beprobungstermin festgestellt. Zu den folgenden Beprobungen 03/, 06/ und 09/2006 wurden deutlich bessere Ergebnisse mit 17, 13 und 19 Überschreitungen des Ablehnungsgrenzwerts registriert.

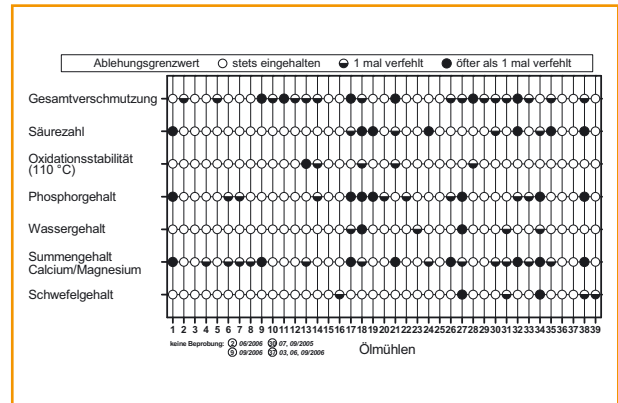


Abb. 69: Einhaltung der Ablehnungsgrenzwerte von Rapsölkraftstoff bei sechs Beprobungen

Tabelle 10 zeigt, dass das Qualitätsbewusstsein der Ölmühlenbetreiber im Beprobungszeitraum sich deutlich verbessert hat. Bei den letzten beiden Beprobungen konnten beispielsweise alle beprobten Ölmühlen den Grenzwert für die Gesamtverschmutzung von 24 mg/kg einhalten, die meisten unterschritten sogar den anzustrebenden Grenzwert für die Produktion in Höhe von 16 mg/kg. Mit der regelmäßigen Beprobung wurde eine Sensibilisierung der Ölmühlenbetreiber hinsichtlich einer qualitätsorientierten Produktion erreicht [70].

Tabelle 10: Anzahl der Ölmühlen, die zu den verschiedenen Auswertungsphasen den Ablehnungsgrenzwert eingehalten oder nur einmal nicht eingehalten haben

	Anzahl Ölmühlen			
	Auswertung* 07/2005 09/2005 12/2005	Auswertung* 09/2005 12/2005 03/2006	Auswertung* 12/2005 03/2006 06/2006	Auswertung* 03/2006 06/2006 09/2006
Alle Ablehnungsgrenzwerte bei drei Beprobungen stets eingehalten	8	9	14	16
Einen Ablehnungsgrenzwert bei drei Beprobungen einmal nicht eingehalten	12	13	9	13

* Beprobungen

Felduntersuchungen der Deutz AG

Im Zeitraum Mai bis August 2008 wurden von der Deutz AG in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband dezentraler Ölmühlen e.V. Rapsölkraftstoffproben aus 20 dezentralen Ölmühlen untersucht. Von 15 Ölmühlen lagen die Analysenergebnisse aller Parameter innerhalb der Grenzwerte der DIN V 51605.

Bei den besonders für den Einsatz in Rapsölkraftstoffmotoren kritischen Parametern, wie zum Beispiel die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium, zeigten sich weitere Verbesserungen gegenüber früheren Beprobungen [68].

Der Mittelwert für die Oxidationsstabilität aller Proben liegt bei 8,1 h. Lediglich von einer Rapsölprobe wurde der Grenzwert nicht eingehalten. Der Wassergehalt der Rapsölkraftstoffproben beträgt durchschnittlich 583 mg/kg; alle Analysenergebnisse liegen unterhalb des Ablehnungsgrenzwertes. Die Messwerte für die Iodzahl streuen kaum und liegen im Mittel bei 112 g (Iod)/100 g. Der Ablehnungsgrenzwert für die Säurezahl wurde von einer Ölprobe überschritten. Der Mittelwert für die Säurezahl wurde mit 1,3 mg KOH/g berechnet. Die Gesamtverschmutzung beträgt durchschnittlich 15 mg/kg;

der Ablehnungsgrenzwert wurde von einer Ölprobe deutlich überschritten. Die Grenzwerte für die Viskosität wurden mit einem Mittelwert von 35,0 mm²/s und für die Dichte mit einem Mittelwert von 919,8 g/cm³ eingehalten. Der Mittelwert für den Phosphorgehalt beträgt 7,4 mg/kg, für den Summengehalt an Calcium und Magnesium 9,7 mg/kg. Von einer Ölprobe wurde der Grenzwert für den Gehalt an Erdalkalimetallen überschritten. Überschreitungen des Grenzwerts für den Schwefelgehalt wurden bei drei Ölmühlen verzeichnet. Der Mittelwert für den Schwefelgehalt wurde mit 6,4 mg/kg berechnet. Die Deutz AG wertet das Ergebnis als sehr zufriedenstellend und führt dies auf ein verbessertes Qualitätsbewusstsein der Ölmühlen und konsequente Beachtung von Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung zurück [71] [91].



9

Betriebswirtschaftliche Aspekte der dezentralen Ölgewinnung

Die Rohstoffkosten nehmen den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer dezentralen Ölmühle [40]. Die erzielbaren Erlöse für das Öl und den Presskuchen sind sehr stark vom Pflanzenöl- und Futtermittelmarkt, aber auch vom Mineralölmarkt abhängig. Für jede Ölgewinnungsanlage muss eine möglichst hohe Auslastung angestrebt werden.

Um die Investitionskosten für eine Ölgewinnungsanlage gering zu halten ist es sinnvoll, wie Tabelle 11, S. 63, zeigt, vorhandenen Gebäudebestand und vorhandene Infrastruktur zu nutzen. Die Ausrüstungskosten betragen für eine Ölmühle mit einer Verarbeitungskapazität von 750 t Rapssaat pro Jahr rund 70.000 €, mit 3.750 t Rapssaat pro Jahr rund 280.000 €.

Die Anschaffungskosten für Ölpresen sind sehr stark vom Pressentyp und von der Verarbeitungskapazität abhängig. Die Anschaffungskosten A in € (Listenpreise zum Stand 2007, inkl. 19 % MwSt.) für Schneckenpressen lassen sich als Funktion der Verarbeitungskapazität m in kg/h abschätzen.

Für Lochseih-Schneckenpressen:

$$A_{\text{Lochseih}} = 119,9 \left[\frac{\text{€} \cdot \text{h}}{\text{kg}} \right] \cdot m \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] + 2645,8 \text{ [€]}$$

Für Seiherstab-Schneckenpressen:

$$A_{\text{Seiherstab}} = 144,06 \left[\frac{\text{€} \cdot \text{h}}{\text{kg}} \right] \cdot m \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] + 8568,5 \text{ [€]}$$

Abbildung 70 und Abbildung 71 zeigen die Listenpreise für Lochseih-Schneckenpressen und Seiherstab-Schneckenpressen in Abhängigkeit von der Verarbeitungskapazität. Die Presskosten werden vor allem von der Auslastung der Ölmühle beeinflusst. Bei einer Ölmühle mit einer Auslastung von 5.000

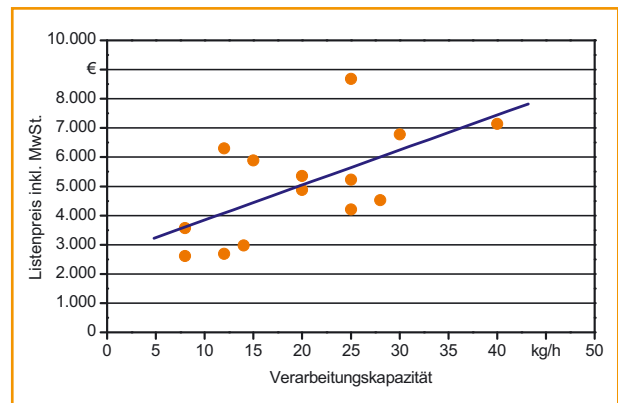


Abb. 70: Listenpreise von Lochseih-Schneckenpressen in Abhängigkeit von der Verarbeitungskapazität (Stand 2007, inkl. MwSt.)

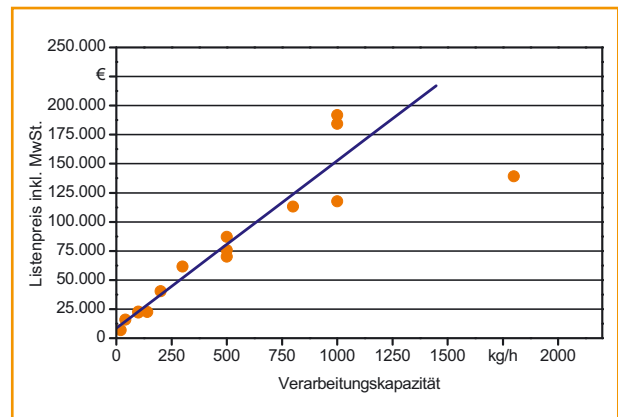


Abb. 71: Listenpreise von Seiherstab-Schneckenpressen in Abhängigkeit von der Verarbeitungskapazität (Stand 2007, inkl. MwSt.)

Stunden pro Jahr und einer Verarbeitungskapazität von 150 kg Rapssaat pro Stunde betragen die Presskosten rund 4,90 €/dt Saat [40]. Bei einer Auslastung von 6.000 Stunden pro Jahr und einer Verarbeitungskapazität von 750 kg Rapssaat pro Stunde betragen die Presskosten ca. 3,80 €/dt Saat. Umgerechnet auf den zu erzielenden Ölmindestpreis bewirkt der Unterschied in den Presskosten bei konstantem Rohstoffpreis und konstantem Erlös für den

Presskuchen eine Preisdifferenz in Höhe von 0,04 €/l. Viel stärker variiert der Ölpreis in Abhängigkeit vom Rapsaatspreis und vom Presskuchenerlös, wie Tabelle 12 zeigt. Die Spanne zwischen der günstigsten und der ungünstigsten Variante beträgt mehr als 0,20 €/l. Im unterstellten Anlagenbeispiel bewirkt eine Differenz im Rapsaatspreis von 20 €/t eine Differenz bei den Bereitstellungskosten für Rapsöl in Höhe von 0,06 €/l. Eine Differenz im Presskuchenerlös von 10 €/t hat eine Differenz bei den Bereitstellungskosten für Rapsöl von 0,02 €/l zur Fol-

ge. In Tabelle 13 sind Rapsölpreise für die Eigenerzeugung in dezentralen Anlagen mit unterschiedlichen Szenarien berechnet [50]. Variiert werden der Rohstoffpreis, der Ölgehalt, der Abpressgrad und der Erlös für das Koppelprodukt Presskuchen, der Schlaglohn sowie der Aufwand für die Erfassung und Lagerung. Der Rapsölpreis liegt bei den gewählten Vorgaben zwischen 0,46 €/l und 0,84 €/l. Im Durchschnitt kann der Liter Rapsöl zu 0,65 €/l erzeugt werden.

Tabelle 11: Investitionskosten für die Errichtung zweier dezentraler Ölmühlen mit unterschiedlicher jährlicher Verarbeitungskapazität (nach Graf, T. und Reinhold, G. (2005) [40])

	Verarbeitungskapazität 750 t/a		Verarbeitungskapazität 3.750 t/a	
	Kosten in €	Anteil an Gesamtkosten in %	Kosten in €	Anteil an Gesamtkosten in %
Ausrüstung	69.535	42	279.574	28
Gebäude	86.060	52	672.348	67
Erschließung	4.345	2,6	15.338	1,5
Baunebenkosten	5.112	3	29.757	3
Gesamt	165.052	100	997.017	100

Tabelle 12: Bereitstellungskosten für Rapsöl frei Anlage in Euro pro Liter ohne MwSt. (nach Graf, T. und Reinhold, G. (2005) [40])

	Bereitstellungskosten für Rapsöl in €/l ohne MwSt.				
	Rapsaatspreis in €/t				
	170	190	210	230	
Presskuchenerlös in €/t	110	0,43	0,49	0,55	0,61
	120	0,41	0,47	0,53	0,59
	130	0,39	0,45	0,51	0,57
	140	0,37	0,43	0,49	0,55

Tabelle 13: Kosten für Rapsöl bei Eigenerzeugung in dezentralen Anlagen (nach Keymer, U. (2007) [50])

Position	Einheit	Durchschnitt	Spanne	
			von	bis
Rapspreis netto	€/dt	23,00	25,30	20,70
Ölgehalt	%	41,5	40,0	43,0
Abpressgrad	%	80,0	75,0	85,0
Rapsöl	dt/dt Raps	0,333	0,300	0,366
Rapspresskuchen	dt/dt Raps	0,647	0,680	0,615
Futterwert Presskuchen	€/dt	11,90	10,20	13,60
Erlös Koppelprodukt	€/dt Raps	7,65	6,94	8,36
Schlaglohn	€/dt Raps	5,00	6,00	4,00
Transport	€/dt Raps	0,00	0,00	0,00
Erfassung/Lagerung	€/dt Raps	2,50	3,00	2,00
Rapsölpreis netto	€/dt Öl	70,70	91,21	50,19
Rapsölpreis netto	€/l Öl	0,65	0,84	0,46



Betriebswirtschaftliche Aspekte der dezentralen Ölgewinnung

Eine ausführliche Beispielkalkulation für eine dezentrale Ölmühle ist in Tabelle 14 zusammengestellt [50]. Die Rentabilität einer eigenbetrieblichen Rapsöl-kraftstoffproduktion kann unter Verwendung der betriebsspezifischen Daten mit dieser Modellrechnung

abgeschätzt werden. Für unterschiedliche Szenarien bezüglich der Auslastung der Ölmühle wird in dieser Modellrechnung der Mindestölpreis berechnet. Dieser variiert je nach Auslastung zwischen 0,71 und 0,85 €/l Rapsöl.

Tabelle 14: Modellrechnung für eine dezentrale Ölmühle (nach Keymer, U. (2007) [50])

Auslastung						
Kampagnedauer	h/a	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
Anlagenverfügbarkeit	h/d	24	24	24	24	24
Produktionstage	d/a	83	125	167	208	250
Leistungskennzahlen						
Pressleistung (Rapssaat)	t/h	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Ölausbeute	%	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
Schwund	%	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Presskuchen	%	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0
Leistungsbedarf	kW _{el}	14	14	14	14	14
Arbeitszeitbedarf	AKh/d	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Preise/Kosten						
Rapssaat	€/dt	28	28	28	28	28
Presskuchen	€/dt	12	12	12	12	12
Stundenlohn	€/AKh	15	15	15	15	15
Ø Strompreis	€/kWh	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Betriebsmittel	€/h	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Jahreskosten						
Anschaffungsk. (A)	€	165.000	165.000	165.000	165.000	165.000
Ø AfA	% von A	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Ø Zins(an)satz	% von A/2	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ø Unterhalt	% von A	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Versicherung	% von A	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
AfA	€/a	11.550	11.550	11.550	11.550	11.550
Zins(an)satz	€/a	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950
Unterhalt	€/a	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300
Versicherung	€/a	825	825	825	825	825
Energie	€/a	5.040	7.560	10.080	12.600	15.120
Betriebsmittel	€/a	1.400	2.100	2.800	3.500	4.200
Lohnkosten/-ansatz	€/a	1.875	2.813	3.750	4.688	5.625
Rohstoffkosten	€/a	84.000	126.000	168.000	210.000	252.000
Zinsansatz Umlaufvermögen ¹⁾	€/a	2.520	3.780	5.040	6.300	7.560
Summe Jahreskosten	€/a	115.460	162.878	210.295	257.713	305.130
Erlöse						
Presskuchen	€/a	23.760	35.640	47.520	59.400	71.280
E-Prämie ²⁾	€/a	3.553	5.329	7.105	8.882	10.658
Summe Erlöse	€/a	27.313	40.969	54.625	68.282	81.938
Ölmindestpreis	€/t	918	847	811	789	775
	Eurocent/l³⁾	84,47	77,89	74,59	72,62	71,30

¹⁾ Zinsansatz: 6 % | Ø Kapitalbindung: 6 Monate ²⁾ Ertrag (Rapssaat): 38 dt/ha | E-Prämie: 45 €/ha ³⁾ Dichte [ρ] bei 15 °C: 0,92 kg/l Rapsöl

Aufgrund der vorliegenden Berechnungen lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Wirtschaftlichkeit einer dezentralen Ölmühle eng gekoppelt ist an

- die Auslastung der Ölmühle,
- die Entwicklung des Rapssaatpreises,
- die Erlöse bei der Vermarktung des Presskuchens zum Beispiel als Futtermittel,
- die Einsparung von Transportkosten durch regionalen Bezug der Ölsaaten und regionale Vermarktung der erzeugten Produkte sowie
- die Nutzung von Synergien und vorhandener Infrastruktur beim Bau der Ölmühle.

Nicht zuletzt entscheidet sich der Erfolg aber auch an der Entwicklung des Mineralölpreises und an der Höhe der Energiesteuer für Rapsölkraftstoff.



§ 10

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die folgenden Ausführungen zu den rechtlichen Rahmenbedingungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt, erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit. Ausdrücklich wird darauf hingewiesen, dass sich die Gesetze, Verordnungen und Erlasse, auf die Bezug genommen wurde, ändern können.

Rechtliche Rahmenbedingungen sind beispielsweise für die Genehmigung, den Bau und den Betrieb einer dezentralen Ölgewinnungsanlage vorgegeben. Ebenso für Lagerstätten und Abgabestellen für Rapsölkraftstoff.

Die Vorgaben der einzelnen Bundesländer unterscheiden sich jedoch voneinander. Deshalb sollte bereits in der Planungsphase mit den zuständigen Behörden Kontakt aufgenommen werden. Sollen in der dezentralen Ölmühle nicht nur technische Öle, sondern auch Speiseöle hergestellt werden, müssen darüber hinausgehende Anforderung, was zum Beispiel die Hygienevorgaben betrifft, erfüllt werden.

10.1 Energiesteuergesetz und Bundes-Immissionsschutzgesetz

Beim In-Verkehr-bringen von Rapsölkraftstoff sind zunächst das Energiesteuergesetz (EnergieStG) ^[10] und das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ^[3] zu beachten.

Tierische und pflanzliche Öle und Fette der Positionen 1507 bis 1518 der kombinierten Nomenklatur (darunter fällt auch Rapsöl) sind nach § 1 EnergieStG Energieerzeugnisse und unterliegen dem Energiesteuergesetz, wenn sie als Kraft- oder Heizstoff verwendet werden.

Nach § 2 Abs. 4 Energiesteuergesetz unterliegen Rapsölkraftstoff und andere pflanzliche Öle für den mobilen Einsatz grundsätzlich der gleichen Steuer wie Dieselmotorkraftstoff, da sie diesem in Ihrer Beschaffenheit und in Ihrem Verwendungszweck am näch-

sten kommen. Jedoch ist nach § 50 EnergieStG eine Steuerbegünstigung von Rapsölkraftstoff und anderen pflanzlichen Ölen als Reinkraftstoff bis 31.12.2011 festgeschrieben. Die Höhe der Steuerbegünstigung wird seit 01.01.2008 schrittweise verringert.

Nach § 50 Abs. 1 EnergieStG wird die Steuerbegünstigung für Rapsölkraftstoff nur gewährt für die Anteile, welche die Mengen der Biokraftstoffbeimischungsquote, die im § 37a BImSchG festgelegt ist, übersteigen. Für die Anteile in Höhe der Biokraftstoffbeimischungsquote muss die Energiesteuer in Höhe von 47,04 Cent/l abgeführt werden („fiktive Quote“). Dadurch war für Rapsölkraftstoff effektiv bereits im Jahr 2007 eine Energiesteuer in Höhe von 2,07 Eurocent/l abzuführen. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 72 dargestellt.

Nach § 57 EnergieStG kann für Rapsölkraftstoff, der als Reinkraftstoff in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung findet, eine komplette Steuerrückerstattung beantragt werden. Die Steuerentlastung wird jedoch nur gewährt, wenn der Entlastungsbetrag mehr als 50 € beträgt. Der zusätzlich für den fossilen Agrardiesel geltende Selbstbehalt von 350 € und die Höchstmenge von 10.000 l, für die eine Steuerentlastung beantragt werden können, finden für Rapsölkraftstoff keine Anwendung.

Die Herstellung von Rapsölkraftstoff und die Zweckbestimmung von Pflanzenölen als Kraftstoff ist eine Herstellung von Energieerzeugnissen (§ 6 EnergieStG). Die Steuer entsteht sofort mit der Herstellung und muss an das zuständige Hauptzollamt abgeführt werden. Eine Steueraussetzung in Steuerlagern ist für Herstellungsbetriebe möglich, bedarf jedoch einer Erlaubnis des zuständigen Hauptzollamtes. Auch die Gewährung einer Energiesteuerbegünstigung für Rapsölkraftstoff muss dort beantragt werden. Als Voraussetzung für die Steuerbegünstigung von Rapsölkraftstoff müssen die Ölmühlenbetreiber ihre Tätigkeit beim zuständigen Hauptzollamt anzeigen und die Energiesteuerentlastung beantragen.

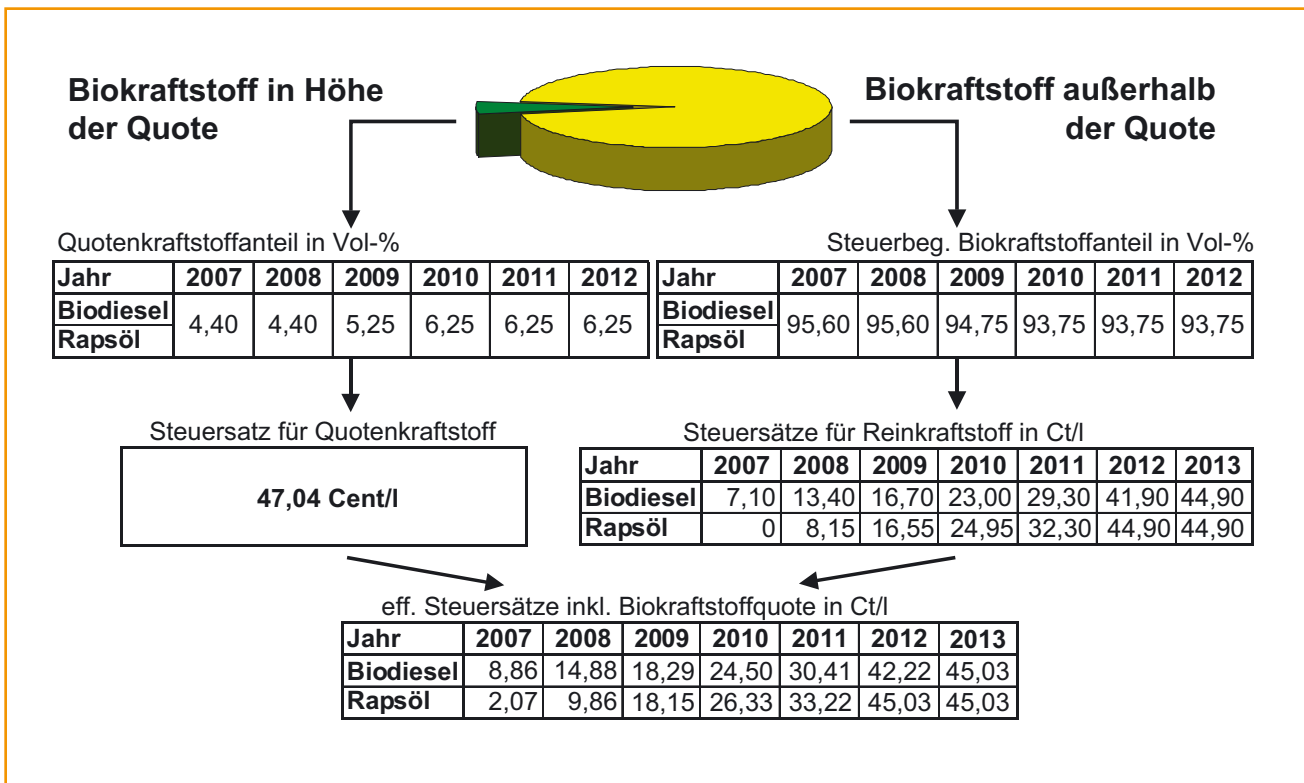


Abb. 72: Energiesteuer für Reinbiokraftstoffe (aktualisiert nach Emberger, P. (2007) mit Daten der UFOP (2009) [81])

Die Anmeldung zur Energiesteuer beziehungsweise das Entrichten der Energiesteuer an das zuständige Hauptzollamt hat unaufgefordert zu erfolgen. Die Energiesteuer muss vom Ölmühlenbetreiber mit Hilfe des Formulars zur Energiesteueranmeldung selbst berechnet werden. Bei Fragen zur Energiesteueranmeldung sollte sich der Ölmühlenbetreiber umgehend an das zuständige Hauptzollamt wenden. Ist eine Ölmühle nicht beim Hauptzollamt gemeldet und wird festgestellt, dass Pflanzenöl als Kraft- oder Heizstoff verkauft wurde, so kann es im schlimmsten Falle zu einer nachträglichen Steuererhebung und zu einer Anzeige wegen Steuerhinterziehung kommen. Die Adressen der zuständigen Hauptzollämter können im Internet unter <http://www.zoll.de> recherchiert werden. Bei speziellen Fragestellungen hinsichtlich der Besteuerung von Biokraftstoffen gibt auch die Biokraftstoffquotenstelle am Hauptzollamt Frankfurt (Oder) Auskunft.

Da Rapsöl sowohl als Energieerzeugnis als auch als Lebensmittel, Futtermittel oder für technische Zwecke verwendet werden kann, ist bei der Abgabe auf eine genaue Bezeichnung auf Rechnung und Lieferschein zu achten. Folgende Bezeichnungen sollten verwendet werden (ohne Gewähr für Richtigkeit und Vollständigkeit):

- Wird Rapsöl zur Verwendung als Kraftstoff abgegeben, sollte vermerkt werden:
Rapsölkraftstoff nach DIN V 51605.

- Wird Rapsöl zur Verwendung als Heizstoff (zum Beispiel für Pflanzenöl-BHKW) abgegeben, sollte vermerkt werden: Rapsöl als Heizstoff zur Verwendung in begünstigten Anlagen nach § 3 EnergieStG, beziehungsweise zum Verheizen nach § 2 Abs. 6 EnergieStG
- Wird Rapsöl abgegeben und ist der genaue Verwendungszweck nicht bekannt, sollte vermerkt werden: Abgabe von Pflanzenöl zum unbestimmten Zweck, kein Energieerzeugnis

Gemäß der Energiesteuer-Durchführungsverordnung (EnergieStV) [12] und der 36. BImSchV [13] sowie dem derzeit gültigen Erlass des Bundesministeriums der Finanzen vom 16.07.2007 (III A 1 – V 8405/07/0002) müssen Ölmühlenbetreiber die Einhaltung der Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 regelmäßig durch Analysen folgender Kennwerte nachweisen:

- Dichte bei 15 °C nach DIN EN ISO 3675 oder DIN EN ISO 12185
- Iodzahl nach DIN EN 14111
- Schwefelgehalt nach DIN EN ISO 20884 oder DIN EN ISO 20846
- Säurezahl nach DIN EN 14104
- Phosphorgehalt nach DIN EN 14107
- Summengehalt an Calcium/Magnesium nach E DIN EN 14538
- Wassergehalt nach DIN EN ISO 12937

In Abhängigkeit der Jahresproduktion an Rapsölkraftstoff werden eine unterschiedliche Anzahl an Analyseurkunden gefordert:

- Ölmühlen, die mehr als 100.000 l Rapsölkraftstoff herstellen:
Das zuständige Hauptzollamt fordert mindestens ein Analyseurkunde pro Quartal an.
- Ölmühlen, die weniger als 100.000 l Rapsölkraftstoff herstellen:
Das zuständige Hauptzollamt kann ein Analyseurkunde pro Jahr als ausreichend anerkennen.
- Ölmühlen, die weniger als 10.000 l Rapsölkraftstoff herstellen:
Das zuständige Hauptzollamt kann auf die Vorlage eines Analyseurkundes verzichten.

Darüber hinaus kann die zuständige Stelle die Entnahme von Proben und deren Analyse fordern.

Auf den Zeitpunkt der Probenahme im entsprechenden Quartal beziehungsweise Jahr ist zu achten, da ansonsten das Analyseurkunde eventuell nicht anerkannt wird und es zu einer nachträglichen Besteuerung des im entsprechenden Zeitraum produzierten Rapsölkraftstoffes in Höhe von 0,47 €/l kommen kann.

Um die Qualität der Analysen zu gewährleisten, sollten die beauftragten Analyselabore betriebseigene sowie betriebsfremde Qualitätssicherungs- und Qualifizierungsmaßnahmen durchführen. Urkunden für die Kraftstoffe werden nur anerkannt, wenn das Labor an mindestens einem Ringversuch pro Jahr teilnimmt und die Ergebnisse der zuständigen Stelle gegenüber offen legt. Der Ölmühlenbetreiber sollte sich daher vom beauftragten Analyselabor schriftlich bestätigen lassen, dass das Hauptzollamt die durchgeführten Analysen anerkennt.

Auch Ölmühlenbetreiber, die Rapsölkraftstoff ausschließlich zum Eigenbedarf herstellen, sind gegenüber dem Hauptzollamt meldepflichtig und müssen die Energiesteuer entsprechend abführen.

§ 10 10.2 Umsatzsteuergesetz

Gemäß einer Stellungnahme der Oberfinanzdirektion Frankfurt vom 29.04.2002 (S 7220 A-30-St I 22) sind nach § 12 Abs. 2 Nr. 1 i.V. mit Nr. 26 der Anlage zum UStG Lieferungen der dort ausdrücklich aufgeführten tierischen und pflanzlichen Fette und Öle der Positionen 15.01 bis 15.03 sowie 15.07 bis 15.17 des Zolltarifs mit dem ermäßigten Steuersatz zu versteuern, wenn sie genießbar, d.h. unmittelbar – ohne weitere Bearbeitung und Verarbeitung – für die menschliche Ernährung geeignet sind, jedoch ohne

Rücksicht auf ihren tatsächlichen Verwendungszweck (Ernährungszwecke, Futtermittelherstellung oder technische Zwecke).

Dies bedeutet, dass genusstaugliches Rapsöl, auch wenn es als Kraftstoff Verwendung finden soll, mit dem ermäßigten Steuersatz von derzeit 7 % versteuert wird. Hingegen muss genussuntaugliches, zum Beispiel mit Rapsölmethylester vergälltes Rapsöl, mit dem regulären Steuersatz von derzeit 19 % versteuert werden.

10.3 Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen

Erstmals wurde zum 31.01.2009 „Pflanzenölkraftstoff“ in die „Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen – 10. BImSchV)“^[15] aufgenommen. Somit ist sicher gestellt, dass ausschließlich Pflanzenölkraftstoff in den geschäftlichen Verkehr gebracht werden darf, der mindestens den Anforderungen der DIN V 51605 entspricht. Durch die zuständigen Behörden werden die Kraftstoffqualität und die ordnungsgemäße Auszeichnung der Kraftstoffe stichprobenartig überprüft. Die Kennzeichnung der Zapfsäulen und Tankstellen muss mit dem in Abbildung 73 dargestellten Zeichen (Durchmesser: 85 mm bis 100 mm) erfolgen.



Abb. 73: Zeichen für Pflanzenölkraftstoff an Zapfsäulen und Tankstellen, gemäß 10. BImSchV, Anlage 7^[15]

10.4 Eichgesetz

Rapsölkraftstoff kann wahlweise volumetrisch oder gravimetrisch (nach Gewicht) im Handel veräußert werden. Die Messgeräte zur Feststellung der Mengen im geschäftlichen Verkehr müssen nach dem Gesetz über das Meß- und Eichwesen (Eichgesetz) ^[2] zugelassen und geeicht sein. Diese gesetzliche Regelung kann nicht durch vertragliche Vereinbarungen oder Einschränkung des Abnehmerkreises (zum Beispiel ausschließliche Abgabe an Vereinsmitglieder) außer Kraft gesetzt werden, denn jede bezahlte Veräußerung fällt unter den geschäftlichen Verkehr. Die vorsätzliche oder fahrlässige Bereithaltung oder Verwendung von nicht geeigneten Messgeräten stellt im Sinne des Eichgesetzes eine Ordnungswidrigkeit dar und kann mit einer Geldstrafe von bis zu 10.000 € belegt werden.

Wird Rapsölkraftstoff gravimetrisch veräußert, so ist zur Mengenerfassung eine zugelassene und geeichte Handelswaage (Klasse III) zu verwenden ^[20].

Beim volumetrischen Handel mit Rapsölkraftstoff muss unterschieden werden, ob der Kraftstoff im ruhenden oder strömenden Zustand gemessen wird. Zur Messung im ruhenden Zustand können speziell zugelassene und geeichte Flüssigkeitsmaße, wie zum Beispiel Messeimer, -kannen oder -zylinder, verwendet werden. Dies stellt eine sehr kostengünstige Variante der Mengenerfassung dar. Zur geeichten Volumenmessung im strömenden Zustand muss nach der Eichordnung für pflanzliche Öle mit einer Viskosität von über 20 mPa·s bei 15°C eine Zulassung von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PBT) oder eine Zulassung zur EWG-Ersteichung vorliegen. Für Pflanzenöl-Messanlagen fordert die PBT in einschlägigen Bauartzulassungen eine untere zulässige Temperatur des Messgutes von 5°C. Wird die Anlage bei niedrigeren Messguttemperaturen verwendet, liegt eine ordnungswidrige Verwendung aufgrund von erheblichen Messunsicherheiten vor.

Um das Volumen von Rapsölkraftstoff an Zapfsäulen zu erfassen, muss diese eine Bauartzulassung zur Eichung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PBT) besitzen. Elektronische Bauteile der Zapfsäule müssen eichamtlich vorgeprüft sein und am Aufstellungsort hat zusätzlich eine Eichung zu erfolgen. Die Gültigkeitsdauer der Eichung beträgt zwei Jahre. Für Zapfsäulen fordert die PBT zumeist eine Beheizungsmöglichkeit, um die untere zulässige Temperatur für Pflanzenöl-Messanlagen von 5°C gewährleisten zu können.

Zapfsäulen für dünnflüssige Mineralöle (zum Beispiel Dieselpapfsäule) sind nur für einen Viskositätsbereich von 0,3 bis 17 mPa·s ausgelegt, zugelassen

und geeicht. Aufgrund der höheren Viskosität von Rapsölkraftstoff dürfen solche Zapfsäulen nicht für den geschäftlichen Verkehr mit Rapsölkraftstoff verwendet werden.

Bei Tankwagen zur Lieferung von Kraftstoffen oder Heizölen erfolgt die Mengenerfassung zumeist volumetrisch. Auch hier ist auf die Zulassung der PTB für pflanzliche Öle zu achten. Aufgrund der höheren Viskosität von Rapsölkraftstoff sind herkömmliche Tankfahrzeuge zur Lieferung von dünnflüssigen Mineralölen (zum Beispiel Heizöl, Diesel) in der Regel nicht für die Abgabe von Rapsölkraftstoff zulässig.

Nähere Informationen können im Internet unter <http://www.eichamt.de> „Informationen zum Verkauf von Pflanzenöl als alternativer Kraftstoff“ ^[20] abgerufen werden.

10.5 Gesetz über Meldungen über Marktordnungswaren

Nach dem Gesetz über Meldungen über Marktordnungswaren ^[4] und § 4 der Marktordnungswaren-Meldeverordnung ^[7] müssen Ölmühlen mit einer jährlichen Verarbeitung von 500 t bis 10.000 t Ölsaaten halbjährlich, ab 10.000 t Ölsaaten monatlich, Meldungen über den Zugang und Abgang von Ölsaaten und Ölfrüchten, von Ölen und Fetten sowie von Ölkuchen, -schroten und -expellern abgeben. Die Meldungen sind bei den zuständigen Stellen der Länder einzureichen. Nach § 17 können Ordnungswidrigkeiten mit einer Geldbuße bis 5.000 € geahndet werden.

10.6 Vorschriften für die Futtermittelhygiene

Ölmühlenbetreiber, die das Kuppelprodukt Rapspresskuchen als Futtermittel verkaufen oder es als Futtermittel für Nutztiere, die nicht zum Eigenverbrauch bestimmt sind, verwenden, sind im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 183/2005 ^[9] Futtermittelunternehmer. Futtermittelunternehmer sind verpflichtet, sich bei den zuständigen Behörden zu melden. Die zum Unternehmen gehörenden Betriebe müssen registriert werden. Futtermittelunternehmer haben die in Artikel 5 festgelegten Verpflichtungen, zum Beispiel hinsichtlich Hygiene und Dokumentation, zu erfüllen.



Faustzahlen

Dampfdruck von Rapsöl	< 1 mbar bei 20 °C [24]
Dichte von Rapsöl (bei 15 °C)	920 kg/m ³
Durchschnittliche Ölausbeute (Kaltpressung)	340 kg Rapsöl/1000 kg Rapssaat
Durchschnittlicher Abpressgrad (Kaltpressung)	80 %
Durchschnittlicher Flächenertrag Raps	34,8 dt/ha
Durchschnittlicher Ölertrag	1,5 t/ha
Durchschnittlicher Ölgehalt der Rapssaat	42 Masse-%
Durchschnittlicher Ölgehalt des Presskuchens	14 Masse-%
Energiebilanz Rapsölkraftstoff	0,22 TJ Primärenergie/TJ Brennstoffenergie [44]
Heizwert von Rapsextraktionsschrot	18.100 kJ/kg
Heizwert von Rapsöl	37.500 kJ/kg [29]
Heizwert von Rapspresskuchen	20.700 kJ/kg
Korndichte Raps gereinigt	1.086 kg/m ³ [47]
Oberflächenspannung von Rapsöl	~33 mN/m bei 25 °C [72]
Schüttdichte Presskuchen	582 kg/m ³
Schüttdichte Raps gereinigt	712 kg/m ³ [47]
Spez. Wärmekapazität von Rapsöl	1,910 - 1,916 J/g · K [61]
Spez. Wärmeleitfähigkeit von Rapsöl	0,179 - 0,188 W/m · K [60]
Volumenausdehnungskoeffizient von Rapsöl	67,5 · 10 ⁻⁵ K ⁻¹ [73]
Wasserlösungsvermögen von Rapsöl	ca. 800 ppm bei 20 °C [45] ca. 1100 ppm bei 90 °C [45]

Adressen



12.1 Verbände und Einrichtungen

Biokraftstoffquotenstelle

Hauptzollamt Frankfurt (Oder)
Sachgebiet Biokraftstoffquote
Postfach 101415
03014 Cottbus
<http://www.zoll.de>

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
<http://www.ble.de>

Bundesverband dezentraler Ölmühlen e.V.

Hofgut Harschberg
66605 St. Wendel
<http://www.bdoel.de>

Bundesverband Pflanzenöle e.V.

Quenteler Str. 19
34320 Söhrewald
<http://www.bv-pflanzenoele.de>

OVID – Verband der ölsaatenverarbeitenden Industrie in Deutschland

Am Weidendamm 1a
10117 Berlin
<http://www.ovid-verband.de>

C.A.R.M.E.N. e.V.

Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und
Entwicklungs-Netzwerk e.V.
Schulgasse 18
94315 Straubing
<http://www.carmen-ev.de>

Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

Burggrafenstr. 6
10787 Berlin
<http://www.din.de>

Eichbehörden der Länder

Adressen über <http://www.eichamt.de>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Hofplatz 1
18276 Gülzow
<http://www.fnr.de>

Hauptzollämter

Adressen über <http://www.zoll.de>

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)

im Kompetenzzentrum für Nachwachsende
Rohstoffe
Schulgasse 18
94315 Straubing
<http://www.tfz.bayern.de>

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP)

Haus der Land- und Ernährungswirtschaft
Claire-Waldoff-Str. 7
<http://www.ufop.de>

12.2 Hersteller von Komponenten für Ölgewinnungsanlagen und Anlagenplaner

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Öl- presse	filter	Armaturen	Schläuche	Planung
Amafiltergroup Amafilter Deutschland GmbH Herr Reinhard Pudelko	Daimlerstr. 1 • 40789 Monheim Tel.: 021 73/399-650 Fax: 021 73/399-6555 http://www.amafilter.com		✓			
Arndt GmbH Herr Dieter Arndt	Senefelderstr. 58 • 63069 Offenbach Tel.: 069/835028 Fax: 069/835312 http://www.bioking-deutschland.com	✓	✓			
E. Begerow GmbH & Co. Frau Gabriele Muhmenthaler	An den Nahewiesen 24 • 55450 Langenlonsheim Tel: 06704/204-0 Fax: 06704/204-121 http://www.begerow.com		✓			
Karl Bockmeyer Kellereitechnik GmbH	Zementwerk 3 • 72622 Nürtingen Tel.: 07022/93343-0 Fax: 0800/3116699 http://www.bockmeyer.de	allerlei Nützliches				
BONI GmbH Herr R. Boni	Brudertalstr. 5A • 77933 Lahr/Schwarzwald Tel.: 07821/9742-0 Fax: 07821/9742-30 http://www.boni-online.de				✓	
Bracco S.r.l.	Via Portico 13 • 24060 Bagnatica-BG ITALIEN Tel.: ++39/035/676017 Fax: ++39/035/6666584 http://www.coter.it	✓	✓			
CIMBRIA SKET GmbH Herr Dr. H.-J. Rasehorn	Schilfbreite 2 • 39120 Magdeburg Tel.: 0391/682249 Fax: 0391/684233 http://www.sket.cimbria.com	✓				✓
Eaton Filtration GmbH Herr Klaus Altenbrand	Auf der Heide 2 • 53947 Nettersheim Tel.: 02486/809-400 Fax: 02486/809-500 http://www.filtration.eaton.com		✓			
Erhard- Import GmbH ERMA-Schneckenpressen Herr Erhard	Burgstall 2 • 86510 Ried Tel.: 08208/248 Fax: 08208/1417 http://www.erhard-maschinen.de	✓				
Farmet a.s. Herr J. Potoček	Jiřinková 276 • 55203 Česká Skalice TSCHECHISCHE REPUBLIK Tel.: +42/491/450-111 Fax: +42/491/450-129 http://www.farmet.cz	✓	✓			✓
Filbertechnik Jäger GmbH Herr Roland Jäger	Josef-Kögel-Str. 6–8 • 89264 Weißenhorn Tel.: 07309/9548-0 Fax: 07309/9548-20 http://www.filbertechnik-jaeger.de	✓				
Florapower GmbH & Co. KG Herr Thomas Kühnel	Am Mittleren Moos 48 • 86167 Augsburg Tel: 0821/8994988-41 Fax: 0821/8994988-43 http://www.florapower.net	✓	✓	✓		✓

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 04/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)



Firma / Ansprechpartner	Adresse	Ölpresse	Filter	Armaturen	Schläuche	Planung
Anton Fries Maschinenbau GmbH Herr A. Fries	Deutzring 6 b • 86405 Meitingen-Herbertshofen Tel.: 08271/41137 Fax: 08271/41241 http://www.anton-fries.de	✓				
J. Giebel Filtertechnik Herr Jochen Giebel	Schwabenäcker 54 • 74594 Krefßberg Tel.: 07951/467818 Fax: 07951/955142 http://www.giebel-filtertechnik.de			Filter und Adsorber für Tankbelüftung		
Goudsmit Magnetic Systems B.V. Büro Deutschland Frau M. Ray	Vogelsängerstr. 50 • 58300 Wetter Tel.: 02335/681906 Fax: 02335/681908 http://www.goudsmit-magnetics.nl			Magnetabscheider		
Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH Edible Oil Technology Herr Harald Boeck	Seevestr. 1 • 21079 Hamburg Tel.: 040/77179-0 Fax: 040/77179-325 http://www.harburg-freudenberger.com	✓	✓			✓
IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG Herr D. Skuras	Postfach 20 08 53 • 41208 Mönchengladbach Tel.: 02166/8682-0 Fax: 02166/8682-44 http://www.ibg-monforts.de	✓				
Egon Keller GmbH & Co. KG Herr U. Keller	Anton-Küppersweg 17 • 42855 Remscheid Tel.: 02191/84100 Fax: 02191/8628 http://www.keller-kek.de	✓	✓			
Kieselmann GmbH	Paul-Kieselmann-Str. 4-10 • 75438 Knittlingen Tel.: 07043/371-0 Fax: 07043/371-125 http://www.kieselmann.de			✓		
La Mécanique Moderne Z.A.C. Artoipole	B.P. 42015 • 62060 Arras Cedex FRANKREICH Tel: +33(0)321/553600 Fax: +33(0)321/240434	✓	✓			
Lenzing Technik GmbH Filtration & Separation Herr Richard Starlinger	Werkstr. 3 • 4860 Lenzing ÖSTERREICH Tel.: +43/7672/701-3625 Fax: +43/7672/918-3625 http://www.lenzing-filtration.com		✓			
MAHLE Filtersysteme GmbH Herr Dipl.-Ing. (FH) Christian Lob Abtlg.: IIT2	Schleifbachweg 45 • D-74613 Öhringen Tel: 07941/67-23558 Fax: 07941/67-23490 http://www.mahle-industriefiltration.com		✓			
Mailca s.r.l.	Via Fiumicello, 3/c • 41030 Bastiglia (MO) ITALIEN Tel: +39(0)59/815268 Fax: +39(0)59/815562 http://www.mailca.com	✓	✓			
Maschinenbau Mayerhofer Pflanzenölpresen Herr M. Mayerhofer	Waid 2 • 94419 Reisbach Tel.: 08734/932157 Fax: 08734/932158 http://www.rapsoelpresse.de	✓				

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 04/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)

Adressen

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Öl- presse	filter	Armaturen	Schläuche	Planung
NawaRoTech GmbH Herr Franz Pröller	Zweigstr. 6 • 82223 Eichenau Tel.: 081 41/3 09 27 04 Fax: 081 41/3 09 27 05 http://www.nawarotech.de	✓	✓			
oilsystems Herr Manfred Distler	Esbach 7 • 95326 Kulmbach Tel.: 09221/6 07 00 71 Fax: 09221/6 90 11 73 http://www.oilsystems.de	✓	✓			
Maschinenfabrik Reinartz GmbH & Co. KG Frau G. Strupat	Industriestr. 14 • 41460 Neuss Tel.: 021 31/97 61-0 Fax: 021 31/97 61-12 http://www.reinartz.de	✓				✓
ÖHMI Engineering GmbH Herr Dr. G. Börner	Berliner Chaussee 66 • 39114 Magdeburg Tel.: 03 91/85 07-1 51 Fax: 03 91/85 07-1 50 http://www.oehmi-engineering.de					✓
Pall SeitzSchenk Filtersystems Herr Ulrich Schmid	Bettringer Str. 42 • 73550 Waldstetten Tel.: 071 71/4 01-0 Fax: 071 71/4 01-1 07 http://www.seitzschenk.de		✓			
PGS Aachen Herr L. Sergis-Christian	Schurzelter Str. 27 • 52074 Aachen Tel: 02 41/47 46 67-0 Fax: 02 41/4 13 40 65 http://www.pgs-aachen.de					✓
Ralle Landmaschinen GmbH Herr Dr. Ralle	Zellwaldring 47-51 • 09603 Großvoigtsberg Tel.: 03 73 28/8 09-0 Fax: 03 73 28/8 09-9 0 http://www.ralle-landmaschinen.de					✓
screw-press GmbH KernKraft – Moosbauer&Rieglsperger GbR Herr Gerhard Rieglsperger	Alfrased 1 • 84367 Reut/Ndb. Tel.: 085 74/5 35 Fax: 085 74/5 34 http://www.oelpresse.de	✓	✓			
Skeppsta Maskin AB Mr. B. Jonsson	Täby Skeppsta • 70594 Örebro SCHWEDEN Tel.: +46/19228005 Fax: +46/19228005 http://www.oilpress.com	✓				
SOLAROILSYSTEMS BV Herr Ronald Aberson	Alteveersweg 42 • NL-8392 MS BOIJL (Frl.) NIEDERLANDE Tel.: +31 (0) 561/42 11 04 Fax: +31 (0) 561/42 11 05 http://www.solaroilsystems.com					✓
Karl Strähle GmbH & Co. KG Frau C. Strähle	Robert-Bosch-Str. 11 • 73265 Dettingen-Teck Tel.: 070 21/9 50 97-0 Fax: 070 21/9 50 97-33 http://www.straehle-maschinenbau.de	✓				✓
Zimmer GmbH Edelstahl- und Anlagentechnik	Lenkersheimerstr. 10a • 90431 Nürnberg Tel.: 09 11/58 05 89-0 Fax: 09 11/8 13 77 00 http://www.zimmer-nbg.de			✓		

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 04/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)



12.3 Anbieter von Tankanlagen, Zapfsäulen und Zubehör für Rapsölkraftstoff

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Produkte
Buck-Tankanlagen GmbH	Daloser Weg 5 • 89134 Blaustein Tel.: 07304/803930 http://www.buck-tankanlagen.de	Tankstationen und Zubehör Tankautomaten, Systeme zur Tankdatenerfassung
Büsch Pflanzenöle GmbH & Co. KG	Konrad-Zuse-Str. 3 • 54552 Nerdlen/Daun Tel.: 06592/98256-0 http://www.buesch-pflanzenoele.de	Tankstationen und Zubehör, eichfähig
Chemowerk GmbH	In den Backenländern 5 • 71384 Weinstadt Tel.: 07151/9636-0 http://www.chemo.de	Tankstationen 1.500–10.000 l und Zubehör
ELAFLEX – Gummi Ehlers GmbH	Schnackenburgallee 121 22525 Hamburg (Eidelstedt) Tel.: 040/5400050 http://www.elaflex.de	Schläuche, Zapfpistolen und Zubehör
FLACO-Geräte GmbH	Isselhorster Str. 377 • 33334 Gütersloh Tel.: 05241/603-0 http://www.flaco.de	Zapfsäulen, Tankanlagen, Tankstationen, eichfähig
J. Giebel Filtertechnik	Schwabenäcker 54 • 74594 Krefßberg Tel.: 07951/467818 http://www.giebel-filtertechnik.de	Belüftungstrockner zur Be- und Entlüftung von Tankanlagen für Mineral- und Biokraftstoffe
HV Hallbauer GmbH	Industriestr. 18 • 68519 Viernheim Tel.: 06204/70950 http://www.hallbauer-viernheim.de	Tankstationen und Zubehör, automatische Endabschaltung möglich
Siegfried Hausmann	Am Angertor 3 • 97618 Wülfershausen Tel.: 09762/506	Tankstationen und Zubehör 3.000–25.000 l, automatische Endabschaltung möglich
Horn GmbH & Co. KG	Munketoft 42 • 24937 Frensburg Tel.: 0461/8696-0 http://www.horn-gmbh.de	Zapfsäulen und Zubehör
Jessberger GmbH	Jägerweg 5 • 85521 Ottobrunn Tel.: 089/6666334-00 http://www.jesspumpen.de	Pumpen
Krampitz Tanksystem GmbH	Dannenberger Str. 15 • 21368 Dahlenburg/Lbg Tel.: 03938/9078-0 http://www.krampitz.de	Tankstationen und Zubehör, eichfähig
lümatic®, Hermann Lümmen GmbH	Biberweg 32 • 53842 Troisdorf Tel.: 02241/2647-0 http://www.luematic.de	Tankstationen, Zapfsäulen mit integriertem Tankautomat und Zubehör, eichfähig

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 10/2008 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)

Adressen

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Produkte
Lutz-Pumpen GmbH	Postfach 1462 • 97864 Wertheim Tel.: 09342/879-0 http://www.lutz-pumpen.de	Chemikalienpumpen, Fasspumpen, Durchflusszähler
Oessler Tankschutzanlagen GmbH	Hans-Böckler-Str. 16 • 72770 Reutlingen Tel: 07121/5855-0 Fax: 07121/506767 http://www.oechsler.de	Tanksanierung, Tankinnenhüllen
Patzelt GmbH	Steinbruchweg 4 • 90607 Rückersdorf Tel.: 0911/579327 http://www.patzelt-gmbh.de	Pumpen Zapfsäulen mit Zubehör, teilweise eichfähig
Penta-Tankanlagen	Im Südfeld 8 • 33647 Bielefeld Tel.: 0521/410031 http://www.penta-tankanlagen.de	Zapfsäulen und Zubehör, eichfähig
Symboil AG	Flurstr. 38 • 85402 Kranzberg Tel.: 08166/9913080 http://www.symboil.de	Tankanlagen, Tankstationen, Systeme zur Tankdatenerfassung
THOMS EnergieService	Otternhägener Str. 8A • 30826 Garbsen Tel.: 05131/449944 http://www.thoms-energieservice.de	Tankstellennetze
Kurt Willig GmbH & Co.KG – Spezialist für Tankfahrzeuge –	Borsigstr. 23 • 94315 Straubing Tel.: 09421/988-0 http://www.willig-tankfahrzeuge.de	Tankfahrzeuge, Tankstationen, eichfähige Zählwerke
ZUWA-Zumpe GmbH	Franz-Fuchs-Str- 13–17 • 83410 Laufen Tel.: 08682/89340 http://www.zuwa.de	Pumpen, Tankanlagen und Zubehör
3 P GmbH	Schotten 6 • 25554 Nortorf Tel.: 04823/921298-0 http://www.3pgmbh.com	Zapfsäulen für Mischungen Pflanzenöl und Diesel

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 10/2008 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)



12.4 Anbieter von Filterhilfsmitteln und Sorptionsmitteln

Firma / Ansprechpartner	Adresse	Produkte
E. Begerow GmbH & Co. Frau Gabriele Muhmenthaler	An den Nahewiesen 24 • 55450 Langenlonsheim Tel: 06704 204-0 Fax: 06704 204-121 http://www.begerow.com	Cellulosen
Grace GmbH & Co KG Herr Massond Jalalpoor	In der Hollerhecke 1 • 67585 Worms Tel: 06241 40300 http://www.grace.com	Silicagele
J. Rettenmaier & Söhne GmbH & Co. KG Herr Dr. Stefan Neufeld	Holzmühle 1 • 73696 Rosenberg Tel.: 07967 152-0 Fax: 07967 152-222 http://www.jrs.de	Cellulosen
Öl- und BioEnergie GmbH Herr Hannes Blauensteiner	Oberwaltenreith 10 • A-3533 Friedersbach Österreich Tel.: +43 2826 7443-0 Fax: +43 2826 7443-500 http://www.waldland.de	Ölbehandlungssystem, Sorptionsmittel
PQ Nederland B.V.	De Brand 24 • 3823 LJ Amersfoort P.O. Box 664 • 3800 AR Amersfoort The Netherlands Tel. +31 33 450 90 30 Fax +31 33 450 90 31	Silicagel
Süd-Chemie AG Herr Dr. Schurz	Ostenriederstr 15 • 85368 Moosburg Tel: 08761 /82-0 Fax: 08761 /82-222 http://www.sud-chemie.com	Bleicherden

Die vorstehende Liste beruht auf Herstellerangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 04/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)



12.5 Analysenlabore für Rapsölkraftstoffe

Analyselabor	Akkreditiert für Rapsölkraftstoff	Akkreditiert für bestimmte Eigenschaften von Rapsölkraftstoff	Teilweise Analyse von Rapsölkraftstoff	Vollständige Analyse nach DIN V 51605	Teilweise Analyse nach DIN V 51605
ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH Trentiner Ring 30 • 86356 Neusäß Tel.: 0821/450423-0	✓			✓	
AUA Agrar- und Umweltanalytik GmbH Jena Löbstedter Str. 78 • 07749 Jena Tel.: 03641/46490		✓			✓
AWV-Dr. Busse GmbH Jößnitzer Str. 113 • 08525 Plauen Tel.: 03741/550760		✓		✓	
Analysen Service GmbH Umwelt- und Öllabor Leipzig Arno-Nitzsche-Str. 35, Gebäude 229 • 04277 Leipzig Tel.: 0341/305150		✓	✓		✓
BDG-Analysen mbH Briloner Str. 14 • 59602 Rüthen Tel.: 02951/600560					✓
Betriebsstofflabor der APL Automobil-Prüftechnik Landau GmbH Am Hölzl 11 • 76829 Landau Tel.: 06341/991-146	✓		✓		
Dr. Fintelmann und Dr. Meyer GmbH Mendelssohnstr. 15 d • 22761 Hamburg Tel.: 040/899664-0	✓				✓
GUMA GmbH Labor Seefeld Krummenseer Chaussee 23 PETS-Tanklager • 16356 Seefeld Tel.: 033398/76860	✓				✓
I.M.U. Institut für Mineralölprodukte und Umweltanalytik Stolzenthalgasse 21 • 1080 Wien • ÖSTERREICH Tel. +43/1/8125361	✓				✓
I.S.P Institut für Kraft- und Schmierstoffprüfungen GmbH Neuenkirchener Str. 7 • 48499 Salzbergen Tel.: 05976/94750		✓			✓
LUFA NRW Nevinghoff 40 • 48147 Münster Tel.: 0251/2376-595		k.A.		✓	

Die vorstehende Liste beruht auf Firmenangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 05/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)



Analyselabor	Akkreditiert für Rapsölkraftstoff	Akkreditiert für bestimmte Eigenschaften von Rapsölkraftstoff	Teilweise Analyse von Rapsölkraftstoff	Vollständige Analyse nach DIN V 51605	Teilweise Analyse nach DIN V 51605
LUFA Nord -West Institut für Boden und Umwelt Finkenborner Weg 1 a • 31787 Hameln Tel.: 05151/9871-82				✓	✓
ÖHMI Aktiengesellschaft Berliner Chaussee 66 • 39114 Magdeburg Tel.: 0391/8507181		✓			✓
PETROLAB GmbH Brunckstr. 12 • 67346 Speyer Tel.: 06232/33011		✓		✓	
SGS Germany GmbH Laboratory Services Am Neuen Rheinhafen 12 A • 67346 Speyer Tel.: 06232/13010		✓		✓	
TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH – Fachbereich Labor – Maienweg 1 • 06237 Spergau Tel.: 03461/481300		✓			✓
Centre for Sustainable Energy Research Postfach des Lehrstuhls LTT der MSF z.H. Dr. U. Schümann, Betriebsstofflabor Albert-Einstein-Str. 2 • 18059 Rostock Tel.: 0381/4983216		*			
Karl-Franzens-Universität Graz Institut für Chemie Arbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe Heinrichstr. 28 • 8010 Graz • ÖSTERREICH Tel. +43/316/380-5353 od. +43/664/1604753		*		✓	
WISA-Laboratorium GmbH Passower Chaussee 111 • Gelände der PCK Raffinerie GmbH/Geb. K316 16303 Schwedt/Oder Tel.: 03332/461043		✓		✓	

k. A.: keine Angaben

* als Universitätslabor keine Akkreditierung

Die vorstehende Liste beruht auf Firmenangaben. Sie erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine Empfehlung noch einen Leistungsnachweis dar.

Stand 05/2009 (ohne Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit)

13.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Ölsaatenverarbeitung in (zentralen) industriellen Ölmühlen	8
Abb. 2:	Chemische Raffination von Rapsöl in (zentralen) industriellen Ölmühlen	9
Abb. 3:	Physikalische Raffination von Rapsöl in (zentralen) industriellen Ölmühlen	9
Abb. 4:	Ölsaatenverarbeitung in (dezentralen) Kleinanlagen	9
Abb. 5:	Standorte der dezentralen Ölmühlen in Deutschland – Stand März 2007	13
Abb. 6:	Vereinfachte schematische Darstellung einer dezentralen Ölmühle (Quelle: MEYER, M. und M. STETTLER (2006), SHL Zollikofen, Schweiz)	15
Abb. 7:	Lochseiherschneckenpresse	17
Abb. 8:	Seiherstabschneckenpresse	17
Abb. 9:	Geometrie der Schneckenwelle einer Schneckenpresse – links: Geometrie des Kerns, rechts: Geometrie der Helix (nach SCHEIN, C. (2003) ^[74])	18
Abb. 10:	Stoffflüsse bei der Ölpressung (verändert nach SCHEIN, C. (2003) ^[74])	18
Abb. 11:	Charakterisierung von Trüböl	21
Abb. 12:	Viskositäts-/Temperaturverhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl ^[83]	21
Abb. 13:	Gesamtverschmutzung (in Anlehnung an DIN 51419-A) im ungereinigten Öl in Abhängigkeit vom Pressentyp ^[86]	22
Abb. 14:	Verfahren und Apparate-Beispiele für die Fest/Flüssig-Trennung bei Pflanzenölen	23
Abb. 15:	Prinzip der diskontinuierlichen Sedimentation im Erdschwerefeld (nach ANLAUF, H. (1991) ^[1])	23
Abb. 16:	Kontinuierliches vierstufiges Sedimentationssystem für Pflanzenöle	23
Abb. 17:	Prinzip der diskontinuierlichen und kontinuierlichen Sedimentation im Zentrifugalfeld (nach ANLAUF, H. (1991) ^[1])	24
Abb. 18:	Prinzip der kuchenbildenden Filtration (nach ANLAUF, H. (1991) ^[1])	24
Abb. 19:	Prinzip der Tiefenfiltration (nach ANLAUF, H. (1991) ^[1])	25
Abb. 20:	Aufbau und Funktion einer Kammerfilterpresse	26
Abb. 21:	Aufbau und Funktion eines Vertikal-Druckkerzenfilters „Cricketfilter®“ (nach Amafilter B.V., Alkmaar, Niederlande)	26

Abb. 22:	<i>Aufbau und Funktion eines Beutelfilters</i>	27
Abb. 23:	<i>Aufbau und Funktion eines Einzelkerzenfilters</i>	27
Abb. 24:	<i>Aufbau und Funktion eines Tiefenschichtenfilters</i>	28
Abb. 25:	<i>Flüssigkeitsverteilung in einem Filterkuchen (nach ANLAUF, H. (1991) ^[11])</i>	28
Abb. 26:	<i>Kombinations-IBC (Intermediate Bulk Container) und IBC aus Metall mit kubischem Tank aus Edelstahl mit Trichterboden</i>	29
Abb. 27:	<i>Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben verschiedener Rapsorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005</i>	32
Abb. 28:	<i>Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben verschiedener Rapsorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005</i>	32
Abb. 29:	<i>Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat</i>	33
Abb. 30:	<i>Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat</i>	33
Abb. 31:	<i>Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat</i>	34
Abb. 32:	<i>Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat</i>	34
Abb. 33:	<i>Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs</i>	34
Abb. 34:	<i>Verschiedene Besatzfraktionen nach Reinigung (von links nach rechts: Steigsichter, Obersieb und Untersieb)</i>	35
Abb. 35:	<i>Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) ^[331])</i>	36
Abb. 36:	<i>Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) ^[331])</i>	36
Abb. 37:	<i>Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Bruchkorn (verändert nach DIETL, G. (2004) ^[331])</i>	36
Abb. 38:	<i>Temperatur von Rapssaat (Selbsterhitzung) in Abhängigkeit von der Lagerdauer und dem Wassergehalt der Rapssaat (verändert nach JACOBSEN, E. E. (1995) ^[481])</i>	37
Abb. 39:	<i>Befall eines Rapslagers mit Insekten, Milben und Schimmelpilzen in Abhängigkeit des Wassergehalts und der Lagertemperatur der Rapssaat (verändert nach JACOBSEN, E. E. (1995) ^[481])</i>	37
Abb. 40:	<i>Phosphorgehalt in Rapsöl in Abhängigkeit von der Presskopftemperatur (nach WIDMANN, B. (1994) ^[851])</i>	38
Abb. 41:	<i>Phosphorgehalt in Rapsöl in Abhängigkeit des Durchmessers der Pressdüse (nach WIDMANN, B. (1994) ^[851])</i>	38
Abb. 42:	<i>Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter</i>	40
Abb. 43:	<i>Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter</i>	40
Abb. 44:	<i>Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk</i>	40
Abb. 45:	<i>Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk</i>	40

Abb. 46: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter 41

Abb. 47: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter 41

Abb. 48: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger 41

Abb. 49: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger 41

Abb. 50: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei ungeschützter Lagerung im Freien 43

Abb. 51: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 20 °C 43

Abb. 52: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 5 °C 43

Abb. 53: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei ungeschützter Lagerung im Freien 43

Abb. 54: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) von Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps unter dem Einfluss unterschiedlicher Lagerungsbedingungen bei lichtgeschützter Lagerung und einer Temperatur von 5 °C 43

Abb. 55: Flammpunkt (DIN EN 22719) von Mischungen von Rapsölkraftstoff mit Benzin, Dieselmethylester ^[67] 44

Abb. 56: Maßnahmenkatalog auf Basis von Microsoft® Excel für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 – Startseite 47

Abb. 57: Formularblatt „Rapssaatlagerung“ aus dem EDV-gestützten Maßnahmenkatalog für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 47

Abb. 58: Musterformular für die Dokumentation von Rapsölkraftstoffproben 49

Abb. 59: Ablehnungsgrenzwerte für Rapsölkraftstoff –vorläufig Stand Mai 2009– gemäß Entwurf für eine Neufassung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen (10. BImSchV) ^[14] 50

Abb. 60: Beispiele reaktiver Bindungen eines Triglycerids 51

Abb. 61: Die Vornorm DIN V 51605 „Rapsölkraftstoff“ ^[29] 53

Abb. 62: Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben 58

Abb. 63: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben 58

Abb. 64: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben 59

Abb. 65: Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662) der Rapsölkraftstoffproben 59

Abb. 66: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben 60

Abb. 67: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben 60

Abb. 68: Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben 60

Abb. 69: Einhaltung der Ablehnungsgrenzwerte von Rapsölkraftstoff bei sechs Beprobungen 60

Abb. 70:	Listenpreise von Lochseiher-Schneckenpressen in Abhängigkeit von der Verarbeitungskapazität (Stand 2007, inkl. MwSt.)	62
Abb. 71:	Listenpreise von Seiherstab-Schneckenpressen in Abhängigkeit von der Verarbeitungskapazität (Stand 2007, inkl. MwSt.)	62
Abb. 72:	Energiesteuer für Reinbiokraftstoffe (aktualisiert nach Emberger, P. (2007) mit Daten der UFOP (2009) ^[811])	67
Abb. 73:	Zeichen für Pflanzenölkraftstoff an Zapfsäulen und Tankstellen, gemäß 10. BImSchV, Anlage 7 ^[151]	68

13.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ölsaatenverarbeitung in zentralen und dezentralen Anlagen – Definition und Abgrenzung (verändert und ergänzt nach KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (1999) ^[531])	10
Tabelle 2:	Dezentrale Ölmühlen in Deutschland – Stand März 2007	12
Tabelle 3:	Ziele und Merkmale der dezentralen Ölgewinnung (nach WIDMANN, B. (1999) ^[871])	12
Tabelle 4:	Risikofaktoren bei der Lagerung von Raps, die zu Qualitätseinbußen führen können (verändert nach BOMBIEN, M. (2007) ^[221])	16
Tabelle 5:	Hersteller von Ölpresen, Verarbeitungskapazität und Bauform der Ölpresen	19
Tabelle 6:	Viskositäts-/Temperaturverhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl ^[831]	21
Tabelle 7:	Einflussfaktoren auf die Kennwerte von Rapsölkraftstoff	31
Tabelle 8:	Vorschlag für innerbetriebliche Grenzwerte für die Produktion von Rapsölkraftstoff	45
Tabelle 9:	Termine für die Beprobung der Rapsölkraftstoffproduzenten	58
Tabelle 10:	Anzahl der Ölmühlen, die zu den verschiedenen Auswertungsphasen den Ablehnungsgrenzwert eingehalten oder nur einmal nicht eingehalten haben	60
Tabelle 11:	Investitionskosten für die Errichtung zweier dezentraler Ölmühlen mit unterschiedlicher jährlicher Verarbeitungskapazität (nach Graf, T. und Reinhold, G. (2005) ^[401])	63
Tabelle 12:	Bereitstellungskosten für Rapsöl frei Anlage in Euro pro Liter ohne MwSt. (nach Graf, T. und Reinhold, G. (2005) ^[401])	63
Tabelle 13:	Kosten für Rapsöl bei Eigenerzeugung in dezentralen Anlagen (nach Keymer, U. (2007) ^[501])	63
Tabelle 14:	Modellrechnung für eine dezentrale Ölmühle (nach Keymer, U. (2007) ^[501])	64

13.3 Quellenverzeichnis

- [1] ANLAUF, H. (1991): *Physikalische Prinzipien der Fest/Flüssig-Trennung*. In: HESS, W. F. und B. THIER (Hrsg.): *Maschinen und Apparate zur Fest/Flüssig-Trennung*. Essen: Vulkan Verlag, S. 2–12
- [2] ANON. (1969): *Gesetz über das Meß- und Eichwesen – Eichgesetz (EichG) vom 11.07.1969 in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. März 1992 (BGBl. I S. 711) zuletzt geändert durch das Gesetz vom 2. Februar 2007 (BGBl. I S. 58)*
- [3] ANON. (1974): *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 15.03.1974, Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23.10.2007 (BGBl. S. 2470)*
- [4] ANON. (1976): *Gesetz über Meldungen über Marktordnungswaren (MarktONOG) vom 23. Juni 1976, in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. November 2008 (BGBl. I S.2260)*
- [5] ANON. (1996): *Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande. Verordnung über brennbare Flüssigkeiten – VbF. Fassung vom 13. Dezember 1996 (BGBl. I S 1938, ber. 1997 S. 447)*
- [6] ANON. (1999): *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen (Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe – VwVwS) vom 17. Mai 1999 (BAnz. vom 29.5.1999 Nr. 98a)*
- [7] ANON. (1999): *Verordnung über Meldepflichten über Marktordnungswaren (Marktordnungswaren-Meldeverordnung – MarktOWMeldV) vom 24. November 1999 (BGBl. I S. 228)*
- [8] ANON. (2002): *Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (BetrSichV - Betriebssicherheitsverordnung) vom 27. September 2002 (BGBl. I Nr. 70 vom 2.10.2002 S. 3777)*
- [9] ANON. (2005): *Verordnung (EG) Nr. 183/2005 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene. Amtsblatt der Europäischen Union L 35/1-22*
- [10] ANON. (2006): *Energiesteuergesetz (EnergieStG) vom 15.07.2006 (BGBl. I S. 1534; 2008, 660; 2008, 1007) zuletzt geändert durch Artikel 30 des Gesetzes vom 19. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2794)*
- [12] ANON. (2006): *Verordnung zur Durchführung des Energiesteuergesetzes (Energiesteuer-Durchführungsverordnung – EnergieStV) vom 31.07.2006 (BGBl. I S. 1753), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 29. Januar 2007 (BGBl. I S. 60)*
- [13] ANON. (2007): *Sechsendreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Durchführung der Regelungen der Biokraftstoffquote – 36. BImSchV) vom 29.01.2007 (BGBl. I S. 60)*
- [14] ANON. (2009): *Entwurf einer Neufassung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen (10. BImSchV)*
- [15] ANON. (2009): *Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen – 10. BImSchV) vom 27.01.2009 (BGBl. I S. 123)*
- [16] ARNDT GMBH (2006): *Vollautomatische Entschleimungsanlage für dezentrale Ölmühlen*. <http://www.bioking-deutschland.com>, Offenbach: Arndt GmbH
- [17] ATTENBERGER, A. und E. REMMELE (2003): *Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff*. Berichte aus dem TFZ Nr. 6. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (82 Seiten)
- [18] ATTENBERGER, A.; B. MATTHÄUS; L. BRÜHL und E. REMMELE (2005): *Untersuchungen von Einflussfaktoren auf die Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards*. Berichte aus dem TFZ 5, Abschlussbericht für den Forschungsbereich der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) AiF-Projekt Nummer 13430 N, Straubing: Technologie- und Förderzentrum (120 Seiten)

- [19] BAHL, B. (2006): *Verbesserung der Oxidationsstabilität und des Kältefließverhaltens von Rapsölkraftstoff durch Zusatz von Additiven*. Diplomarbeit. Rostock: Universität Rostock, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Institut für Chemie, Abteilung für Analytische, Technische und Umweltchemie (91 Seiten)
- [20] BAYERISCHE EICHVERWALTUNG (2007): *Informationen zum „Verkauf von Pflanzenöl als alternativer Kraftstoff“*. Stand März 2007. München: Bayerisches Landesamt für Maß und Gewicht, URL: <http://www.lmg.bayern.de> (3 Seiten)
- [21] BOCKISCH, M. (1993): *Nahrungsfette und -öle*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co. (694 Seiten)
- [22] BOMBIEN, M. (2007): *Trocknung und Lagerung*. In: CHRISTENSEN, O. und W. FRIEDT: *Winterraps. Das Handbuch für Profis*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, S. 213–220
- [23] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2009): *Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2008 (Stand Juni 2009)*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, <http://www.erneuerbare-energien.de> (79 Seiten)
- [24] BUNGE DEUTSCHLAND GMBH (2007): *EG-Sicherheitsdatenblatt für raffiniertes Rapsöl*. Mannheim: Bunge Deutschland, <http://www.bunge-deutschland.de> (3 Seiten)
- [25] DEMMEL, M. und J. ECKL (2006): *Verfahrenstechnik Getreide/Mais*. In: MUNZERT, M. und J. FRAHM (Schriftl.) *Pflanzliche Erzeugung*. München: BLV Buchverlag, S. 405–438
- [26] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FETTWISSENSCHAFT E.V. (2004): *Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen, Band 1, 2. Auflage*. Stuttgart. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
- [27] DEUTSCHER RAIFFEISENVERBAND E.V. et al. (Hrsg.) (2007): *Hygienische Maßnahmen für den Umgang mit Getreide und Ölsaaten*. <http://www.raiffeisen.de> (2 Seiten)
- [28] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2006): *DIN EN ISO 4259: Mineralölerzeugnisse – Bestimmung und Anwendung der Werte für die Präzision von Prüfverfahren*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [29] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2006): *(Vornorm) DIN V 51605. Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [30] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2007): *DIN EN 15195. Flüssige Mineralölerzeugnisse - Bestimmung des Zündverzugs und der abgeleiteten Cetanzahl (ACZ) von Kraftstoffen aus Mitteldestillaten in einer Verbrennungskammer mit konstantem Volumen*. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [31] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2007): *Recht und Normung*. <http://www.din.de>
- [32] DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT (2008): *DE 10 2006 061 604 Verfahren zur Herstellung eines Kraftstoffs aus Pflanzenöl* (7 Seiten)
- [33] DIETL, G. (2004): *Einfluss der Rapsorte und der Rapssaatqualität auf Eigenschaften von Rapsölkraftstoff*. Diplomarbeit. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landtechnik (81 Seiten)
- [34] EIMER, M. (1998): *Konservierung und Lagerung von Raps*. In: *Raps*, Jhg. 16, Nr. 3, S. 118–121
- [35] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (2009): *Projektliste – Bioenergie*. <http://www.nachwachsenderohstoffe.de>, Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- [36] FEIFFER, A. (2006): *Hinweise zur Rapsernte*. In: ALPMANN, L. et al. (2006): *Raps - Anbau und Verwertung einer Kultur mit Perspektive. Ertrag und Qualität sichern*. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, S. 246–253
- [37] FEIFFER, A. (2007): *Raps erst nach dem Weizen dreschen?* *Raps*, Jhg. 25, Nr. 2, S. 86–88
- [38] FRIEDRICH, A. et al. (1993): *Ökologische Bilanz von Rapsöl beziehungsweise Rapsölmethylester als Ersatz von Dieselmotorkraftstoff (Ökobilanz Rapsöl)*, Texte 4/93. Berlin: Umweltbundesamt (176 Seiten)
- [39] GRAF, T. (2007): *Anforderungen an die Rohstoffqualität mit Schwerpunkt auf Rapssaat*. In: NOVA INSTITUT GMBH (Hrsg.): *Tagungsband Erster Internationaler Kongress zu Pflanzenöl-Kraftstoffen, 6.–7. September 2007 in Erfurt*. Hürth: Nova Institut, S. 97–110

- [40] GRAF, T. und G. REINHOLD (2005): *Betriebswirtschaftliche Aspekte der dezentralen Ölsaatenverarbeitung*. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung, 1*, Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 122–129
- [41] GROPP, A. (2004): *Prüfung der Eignung von Sicherheitsfiltern für dezentrale Ölgewinnungsanlagen*. Diplomarbeit. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landtechnik (100 Seiten)
- [42] GROSS, K.-J. (2002): *Auswuchsrapraps 2002 – Konsequenzen für die Ölqualität*. In: *Raps*, Jhg. 20, Nr. 4, S. 201
- [43] GURGEL, A. (2000): *Untersuchungen zur technisch-technologischen Gestaltung der Ernte und Verarbeitung von Lein-dotter*. Dissertation. Rostock: Universität Rostock, Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie (130 Seiten)
- [44] HARTMANN, H. und M. KALTSCHMITT (2002): *Biomasse als erneuerbarer Energieträger*, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 3, 2. Auflage – vollständige Neubearbeitung. Münster: Landwirtschaftsverlag Münster (692 Seiten)
- [45] HEMMER, M. (2004): *Rapsöl als Isolier- und Kühlmedium in Transformatoren*. Dissertation. Karlsruhe: Universität Fridericiana Karlsruhe, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik (178 Seiten)
- [46] HUMPISCH, G. (2002): *Gesunderhaltung von Rapssaat*. In: *Raps*, Jhg. 20, Nr. 3, S. 154–156
- [47] HUMPISCH, G. (2003): *Getreide lagern – Belüften und Trocknen*. Bergen/Dumme: Agrimedia GmbH (124 Seiten)
- [48] JACOBSEN, E. E. (1995): *Trocknen und Lagern von Raps*. In: *Mühle + Mischfuttermittel*: Jhg. 132, Nr. 49, S. 821–822
- [49] KALTSCHMITT, M. und H. HARTMANN (Hrsg.) (2001): *Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin: Springer Verlag (770 Seiten)
- [50] KEYMER, U. (2007): *Kosten für Rapsöl bei Eigenerzeugung in dezentralen Anlagen*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, München (unveröffentlicht)
- [51] KOLLMANN, I. (1991): *Lagerverluste und Qualitätsveränderungen bei Ölraps*. In: *Raps*: Jhg. 9, Nr. 2, S. 92–95
- [52] KRAUS, K.; G. NIKLAS und M. TAPPE (1999): *Aktuelle Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieselkraftstoff*. Texte Nr. 79/1999, Berlin: Umweltbundesamt (199 Seiten)
- [53] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUSWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (1999): *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – KTBL Arbeitspapier 267*. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH (129 Seiten)
- [54] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUSWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (2005): *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – KTBL Schrift 427*. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH (164 Seiten)
- [55] LIU, H.; C. G. BILIADERIS; R. PRZYBYLSKI und N.A.M. ESKIN (1995): *Physical behaviour and composition of low- and high-melting fractions of sediment in canola oil*. In: *Food Chemistry*: Jhg. 53, S. 35–41
- [56] MATTHÄUS, B.; H.-J. FIEBIG; K. VOSMANN und L. BRÜHL (2002): *Kaltgepresstes Rapsöl*. In: *Raps*, Jhg. 20, Nr. 4, S. 198–200
- [57] MEIER, U. (2001): *Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen – BBCH Monografie. 2. Auflage*. Berlin und Braunschweig: BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.), <http://www.bba.de/>, (165 Seiten)
- [58] NIEWIADOMSKI, H. (1990): *Rapeseed – Chemistry and Technology*, Bd. 23. Amsterdam: Elsevier Science Publishers (433 Seiten)
- [59] PAETKAU, T. F. und H. M. LAPP (1973): *Heat and moisture are critical to rapeseed storage*. In: *Journal of Flour and Animal Feed Milling*, Jhg. 155, Nr. 10, S. 38
- [60] PRZYBYLSKI, R. (2007): *Canola Oil: Physical and Chemical Properties*. Winnipeg (Canada): Canola Council of Canada, <http://www.canola-council.org> (12 Seiten)

- [61] PRZYBYLSKI, R. und T. MAG (2002): *Canola/rapeseed oil*. In: GUNSTONE, F. D. (Hrsg.): *Vegetable Oils in Food Technology – Composition, Properties and Uses*. Berlin: Blackwell Verlag, S. 98–127
- [62] RADEMACHER, T. (2007): *Rapserrnte*. In: CHRISTENSEN, O. und W. FRIEDT: *Winterraps. Das Handbuch für Profis*. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, S. 95–103
- [63] RAß, M. (2001): *Zur Rheologie des Biogenen Feststoffs unter Kompression am Beispiel geschälter Rapssaat*. Dissertation. Essen: Universität Gesamthochschule Essen, Fachbereich 12 – Maschinenwesen (185 Seiten)
- [64] REINHARDT, G. und S. O. GÄRTNER (2001): *Ökologischer Vergleich von RME und Rapsöl*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) FKZ 01 NR 045. Heidelberg: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH
- [65] REMMELE, E.; K. THUNEKE; B. A. WIDMANN; T. WILHARM und H. SCHÖN (2000): *Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenölaugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW*. „Gelbes Heft“ Nr. 69. München: Hrsg. und Druck: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (217 Seiten)
- [66] REMMELE, E. (2002): *Reinigung kaltgepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen*. „Gelbes Heft Nr. 75“. München: Hrsg. und Druck: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (161 Seiten)
- [67] REMMELE, E. (2002): *Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff – Untersuchungen zu Kenngrößen, Prüfverfahren und Grenzwerten*. Dissertation: Technische Universität München. Arbeitskreis Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI Nr. 400, Freising: TU München, Lehrstuhl für Landtechnik (194 Seiten)
- [68] REMMELE, E. und K. STOTZ (2003): *Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis*. Berichte aus dem TFZ 1, Abschlussbericht für Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FKZ 22004900, Straubing: Technologie- und Förderzentrum (115 Seiten)
- [69] REMMELE, E. (2005): *Anlagentechnik der Reinigung und Lagerung*. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung*, Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 37–50
- [70] REMMELE, E.; K. STOTZ; J. WITZELSPERGER und T. GASSNER (2007): *Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen*. Berichte aus dem TFZ 12, Abschlussbericht für Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FKZ 22012903, Straubing: Technologie- und Förderzentrum (257 Seiten)
- [71] RIETZ, F. (2008): *Untersuchung qualitätsrelevanter Analyseparameter biogener Kraftstoffe und Dieseldieselkraftstoff-Blends für den Motorbetrieb*. Diplomarbeit. Magdeburg: Fachhochschule Magdeburg – Stendal, Institut für Chemie/Pharmatechnik (121 Seiten)
- [72] ROUSSEAU, D. (2004): *Chemical and physical properties of canola and rapeseed oil*. In: GUNSTONE, F. D. (Hrsg.): *Rapeseed and canola oil*, 1. Aufl., Oxford: Blackwell Publishing Ltd., S. 79–110
- [73] SCHARNOW, R. (2007): *Flüssige Waren*. In: GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN VERSICHERUNGSWIRTSCHAFT E.V. (GDV) (Hrsg.): *Containerhandbuch*. <http://www.containerhandbuch.de>
- [74] SCHEIN, C. (2003): *Zum kontinuierlichen Trennpresen biogener Feststoffe in Schnecken geometrien am Beispiel geschälter Rapssaat*. Dissertation. Essen: Universität Duisburg-Essen, Fachbereich 12 – Maschinenwesen (142 Seiten)
- [75] SCHMITZ, N., J. HENKE und G. KLEPPER (2009): *Biokraftstoffe Eine vergleichende Analyse*. Zweite, völlig neu bearbeitete Auflage. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg.) (164 Seiten)
- [76] SCHNEIDER, F. H. und M. RAß (1997): *Trennpresen geschälter Rapssaat - Zielsetzung und verfahrenstechnische Probleme*. *Fett/Lipid*, Jg. 99, Nr. 3, S. 91–98
- [77] SKRIEGAN, E. (1989): *Kaltlagerung von Körnerraps*. In: *Raps*, Jhg. 7, Nr. 2, S. 78–87
- [78] STOTZ, K. und E. REMMELE (2005): *Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland*. Berichte aus dem TFZ 3, Straubing: Technologie- und Förderzentrum (53 Seiten)

- [79] TZSCHEUTSCHLER, P.; T. DREIER und U. WAGNER (2001): *Ganzheitliche Systemanalyse für die Erzeugung und Anwendung von Biodiesel und Naturdiesel im Verkehrssektor. Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München, Schriftenreihe „Gelbes Heft“ Nr. 72. München: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (71 Seiten)*
- [80] UHL, A., R. HAAS und E. REMMELE (2007): *Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen. Berichte aus dem TFZ 15. Straubing: Technologie- und Förderzentrum (68 Seiten)*
- [81] UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN UFOP (Hrsg.) (2009): *Gesetz zur Änderung der Förderung von Biokraftstoffen. Auswirkungen der geänderten Mindestanteile. Neuberechnung der Steuersätze für Reinkraftstoffe Klimaschutzquote für Biokraftstoffe ab 2015. Berlin: UFOP (4 Seiten)*
- [82] WIDMANN, B.A. (1990): *Fundamental Research to Develop a Standard for Fuel Quality and Rape Seed Oils and Esters. In: GRASSI, G.; G. GROSSE und G. DOS SANTOS (Hrsg.): Biomass for Energy and Industry – 5th E.C. Conference 1989 in Lisbon, Portugal. Essex, England: Elsevier Science Publishers Ltd., S. 1651–1655*
- [83] WIDMANN, B.A.; R. APFELBECK; B.H. GESSNER und P. PONTIUS (1992): *Verwendung von Rapsöl zu Motortreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht. „Gelbes Heft 40“ (Gesamtbericht). München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Eigenverlag (650 Seiten)*
- [84] WIDMANN, B.A. (1994): *Gewinnung und Reinigung von Pflanzenölen in dezentralen Anlagen - Einflussfaktoren auf die Produktqualität und den Produktionsprozess. „Gelbes Heft 51“. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Eigenverlag (310 Seiten)*
- [85] WIDMANN, B.A. (1994): *Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Minderung des Phosphorgehaltes von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Dissertation, Arbeitskreis Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Nr. 262. Freising-Weihenstephan: TU München, Institut für Landtechnik (157 Seiten)*
- [86] WIDMANN B.A. (1998): *Production of vegetable oils in decentralised plants and aspects of quality management – investigations of plants in practice to optimise the process. In: KOPETZ, H.; T. WEBER; W. PALZ; P. CHARTIER und G.L. FERRERO (Hrsg.): Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the International Conference Würzburg, Germany, 8.–11. Juni 1998. Rimpar, Deutschland: C.A.R.M.E.N. e.V. S. 124–127*
- [87] WIDMANN, B. (1999): *Hintergründe und Zielsetzung der dezentralen Ölsaatenverarbeitung. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 7–15*
- [88] WIDMANN, B.A.; T. STELZER, E. REMMELE und M. KALTSCHMITT (2001): *Produktion und Nutzung von Pflanzenölkraftstoffen. In: KALTSCHMITT, M. und H. HARTMANN (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin. Springer-Verlag, S. 537–583*
- [89] WIDMANN, B. und E. REMMELE (2008): *Biokraftstoffe - Fragen und Antworten. Straubing: Technologie- und Förderzentrum (16 Seiten)*
- [90] WILHARM, T. (2007): *Pflanzenölkraftstoff: Qualitätssicherung anhand der Norm DIN V 51605. In: NOVA INSTITUT GMBH (Hrsg.): Tagungsband Erster Internationaler Kongress zu Pflanzenöl-Kraftstoffen, 6.–7. September 2007 in Erfurt. Hürth: Nova Institut, S. 125–132*
- [91] WINKLER, M. und F. RIETZ (2008): *Untersuchung der Qualität von Rapsölkraftstoffen aus dezentralen Ölmühlen. Pflanzenöl, Jg. 1, Nr. 3, S. 12-13*
- [92] WITZELSPERGER, J. und E. REMMELE (2008): *Nachbehandlung von Rapsölkraftstoff dezentraler Ölmühlen zur Minderung von Elementgehalten. Landtechnik, Jg. 63, Nr. 4, S. 205-207*



Herausgeber

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel. : 0 38 43 / 69 30-0
Fax: 0 38 43 / 69 30-1 02
info@fnr.de • www.fnr.de • www.bio-kraftstoffe.info

Gefördert durch das Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

FNR-Bestellnummer: 300
ISBN 978-3-9803927-9-2

