



# **Prüfung von Hanföl hinsichtlich seiner Eignung als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren**

Peter Emberger  
Klaus Thuneke  
Rita Haas  
Edgar Remmele

Straubing, April 2007

**Titel:** Prüfung von Hanföl hinsichtlich seiner Eignung als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren

**Projektleiter:** Dr. Edgar Remmele

**Bearbeiter und Autoren:** Peter Emberger, Klaus Thuneke, Rita Haas, Dr. Edgar Remmele

**Bearbeiter:** Anja Rocktäschel, Roland Fleischmann, Thomas Gassner

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde im Auftrag der NOVA-Institut GmbH, Hürth durchgeführt.  
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

© 2007  
Technologie- und Förderzentrum (TFZ)  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Straubing

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.

ISSN: -

**Hrsg.:** Technologie- und Förderzentrum (TFZ)  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe  
Schulgasse 18, 94315 Straubing

**E-Mail:** [poststelle@tfz.bayern.de](mailto:poststelle@tfz.bayern.de)

**Internet:** [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

**Redaktion:** Peter Emberger

**Verlag:** Technologie- und Förderzentrum

**Erscheinungsort:** Straubing

**Erscheinungsjahr:** 2007

**Gestaltung:** Peter Emberger, Rita Haas

**Fotonachweis:** Anja Rocktäschel

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>		<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>		<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>		<b>7</b>
<b>1 Einleitung.....</b>		<b>9</b>
<b>2 Stand des Wissens .....</b>		<b>10</b>
<b>3 Methodik .....</b>		<b>13</b>
<b>4 Ergebnisse und Diskussion.....</b>		<b>15</b>
<b>4.1 Probenaufbereitung.....</b>		<b>15</b>
<b>4.2 Allgemeine Eigenschaften der Hanfölproben .....</b>		<b>16</b>
4.2.1 Fettsäureverteilung .....		16
4.2.2 Elementarzusammensetzung .....		17
4.2.3 Elementscreening.....		18
4.2.4 Dynamische Viskosität .....		18
<b>4.3 Einhaltung der Anforderungen nach DIN V 51605.....</b>		<b>19</b>
4.3.1 Dichte.....		19
4.3.2 Flammpunkt nach Pensky-Martens .....		20
4.3.3 Kinematische Viskosität bei 40 °C.....		21
4.3.4 Cetanzahl .....		22
4.3.5 Heizwert.....		23
4.3.6 Koksrückstand .....		24
4.3.7 Jodzahl .....		25
4.3.8 Schwefelgehalt.....		26
4.3.9 Gesamtverschmutzung.....		27
4.3.10 Säurezahl .....		28
4.3.11 Oxidationsstabilität.....		29
4.3.12 Phosphorgehalt .....		30
4.3.13 Calcium- und Magnesiumgehalt.....		31
4.3.14 Aschegehalt (Oxidasche).....		32
4.3.15 Wassergehalt.....		33
<b>4.4 Alterungsverhalten von Hanföl .....</b>		<b>34</b>
<b>4.5 Eigenschaften von Hanföl-Rapsöl-Gemischen .....</b>		<b>36</b>
4.5.1 Dynamische und kinematische Viskosität .....		36
4.5.2 Oxidationsstabilität.....		38
<b>Schlussfolgerungen .....</b>		<b>41</b>
<b>Fazit.....</b>		<b>43</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>		<b>45</b>

**Anhang...** ..... **49**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gesamtverschmutzung (EN 12662) der Hanfölaproben bei Probeneingang.....	15
Abbildung 2:	Partikelförmige Polymerisationsrückstände auf der Filtermembran der Probe „Hanfölapaltgepresst“ vor der Aufbereitung unter dem Mikroskop.....	16
Abbildung 3:	Fettsäureverteilung (EN 14103) von verschiedenen Hanfölaproben.....	17
Abbildung 4:	Dynamische Viskosität von verschiedenen Hanfölaproben, gemessen mit einem Rotationsviskosimeter, bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min.....	18
Abbildung 5:	Dichte bei 15 °C (EN ISO 12185) von verschiedenen Hanfölaproben .....	19
Abbildung 6:	Flammpunkt (Pensky-Martens) (EN ISO 2719) von verschiedenen Hanfölaproben .....	20
Abbildung 7:	Kinematische Viskosität bei 40 °C (EN ISO 3104) von verschiedenen Hanfölaproben .....	21
Abbildung 8:	Cetanzahl (DIN 51773, modifiziert) von verschiedenen Hanfölaproben.....	22
Abbildung 9:	Heizwert (DIN 51900-1,-3) von verschiedenen Hanfölaproben .....	23
Abbildung 10:	Koksrücksand (EN ISO 10370) für verschiedene Hanfölaproben .....	24
Abbildung 11:	Jodzahl (EN 14111) von verschiedenen Hanfölaproben.....	25
Abbildung 12:	Schwefelgehalt (EN ISO 20884) von verschiedenen Hanfölaproben .....	26
Abbildung 13:	Gesamtverschmutzung (EN 12662) von verschiedenen Hanfölaproben nach Probenaufbereitung.....	27
Abbildung 14:	Säurezahl (EN 14104) von verschiedenen Hanfölaproben.....	28
Abbildung 15:	Oxidationsstabilität (EN 14112) von verschiedenen Hanfölaproben .....	29
Abbildung 16:	Phosphorgehalt (EN 14107) der untersuchten Hanfölaproben.....	30
Abbildung 17:	Calcium- und Magnesiumgehalt (EN 14538) von verschiedenen Hanfölaproben .....	31
Abbildung 18:	Gehalt an Oxidasche (EN ISO 6245) von verschiedenen Hanfölaproben.....	32
Abbildung 19:	Wassergehalt nach Karl Fischer (EN ISO 12937) von verschiedenen Hanfölaproben .....	33
Abbildung 20:	Verlauf der Oxidationsstabilität (EN 14112) von Hanfölap und Rapsölap bei verschiedenen Lagertemperaturen .....	34
Abbildung 21:	Veränderung der kinematischen Viskosität (40°C) (ISO 3104) von Hanfölap und Rapsölap bei verschiedenen Lagertemperaturen .....	35
Abbildung 22:	Verlauf der kinematischen Viskosität von Hanfölap-Rapsölap-Gemischen in Abhängigkeit von der Temperatur.....	36
Abbildung 23:	Einfluss des Hanfölapanteils auf die kinematische Viskosität bei 0 °C und 10 °C eines Hanfölap-Rapsölap-Gemisches .....	37

Abbildung 24: Dynamische Viskosität von Hanfö-l-Rapsö-l-Gemischen, gemessen mit einem Rotationsviskosimeter, bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min .....	37
Abbildung 25: Einfluss des Hanfö-lanteils auf den Pourpoint (ISO 3016).....	38
Abbildung 26: Einfluss des Hanfö-lanteils auf die Oxidationsstabilität (110 °C) eines Hanfö-l-Rapsö-l-Gemisches .....	39

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kenngrößen der DIN V 51605 und ihre Relevanz für Rapsölkraftstoff nach REMMELE (2002) (ergänzt) [4] .....	10
Tabelle 2:	Physikalisch-chemische Eigenschaften von Hanföl.....	11
Tabelle 3:	Fettsäurezusammensetzung von Hanföl und Rapsöl.....	11
Tabelle 4:	Daten zu den untersuchten Hanfölproben .....	13
Tabelle 5:	Kennwerte der verwendeten Rapsölkraftstoffe für die Versuche.....	14
Tabelle 6:	Elementarzusammensetzung von Hanföl, Rapsölkraftstoff und Dieselkraftstoff .....	17



# 1 Einleitung

Die Nutzung von Pflanzenöl als Motorentreibstoff kann einen wesentlichen Beitrag zum Klima-, Boden- und Gewässerschutz mit zusätzlicher Erhöhung der Wertschöpfung in der Landwirtschaft leisten. Vor allem bei der Nutzung von Rapsöl als Kraftstoff konnten in den letzten Jahren viele positive Erfahrungen gesammelt und die DIN V 51605 für Rapsölkraftstoff erarbeitet werden. Für andere Pflanzenöle zur Nutzung als Kraftstoff liegen jedoch noch wenige Erfahrungen vor.

Hanf, *Cannabis sativa*, ist eine der ersten Pflanzen, die vom Menschen genutzt und angebaut wurden. Ursprünglich stammt die Pflanze aus Mittelasien, der Anbau in Europa geht jedoch schon bis in die vorrömische Eisenzeit (800 bis 400 v. Chr.) zurück. Die Blütezeit des Anbaus hatte Hanf vom 15. bis ins 19. Jahrhundert. Hanf gewann wegen seiner vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten und seiner hohen Widerstandskraft eine große wirtschaftliche Bedeutung. [13][17][18]

Hanf wird heutzutage hauptsächlich zur Fasergewinnung angebaut und optimiert, aber auch die Hanfsamen stellen einen Rohstoff dar. Hinsichtlich des Hektarertrages wertvoller Hanfsamen sind in der Literatur verschiedene Angaben zu finden. Die Bandbreite reicht von wenigen hundert kg/ha bis hin zu 1000 kg/ha und ist stark abhängig von Hanfsorte, Standort und Ausreifung [5][19]. Die Hanfsamen selbst können bis zu 37,5 % Öl enthalten [13], bei der Produktion anfallender Pressrückstand kann als Futtermittel verwertet werden [29].

Hanföl wird als Speiseöl und als Rohstoff für industrielle Prozesse, z.B. Herstellung von Kosmetika verwendet. Eine Verwendung von Hanföl als Kraftstoff ist derzeit ohne Bedeutung, wird jedoch häufig diskutiert.

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand bestimmter kraftstoffrelevanter Eigenschaften Hanföl stichprobenartig hinsichtlich der möglichen Verwendung als Kraftstoff zu untersuchen und zu beurteilen.

## 2 Stand des Wissens

Wichtige kraftstoffrelevante Eigenschaften für Rapsölkraftstoff sind in der DIN V 51605 definiert, welche aus dem RK-Qualitätsstandard 05/2000 erarbeitet wurde. Für andere Pflanzenöle zur Nutzung als Kraftstoff existieren derzeit keine anerkannten Qualitätsrichtlinien. Die Bedeutung der einzelnen in der DIN V 51605 aufgeführten Parameter sind in der Literatur [4] [10] [11] ausführlich beschrieben. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Kenngrößen der DIN V 51605 sowie deren Relevanz für die Kraftstoffnutzung nach REMMELE (2002) [4].

Tabelle 1: Kenngrößen der DIN V 51605 und ihre Relevanz für Rapsölkraftstoff nach REMMELE (2002) (ergänzt) [4]

Kenngröße	motorischer Betrieb	Abgasreinigungssystem	(Emissionen)	Lagerung	Transport	Unterscheidbarkeit	Relevanz für Rapsölkraftstoff
Dichte <sup>1 2</sup>	(✓)			✓	✓	(✓)	✓
Flammpunkt <sup>1 2</sup>				✓	✓	✓	✓
Heizwert	(✓)					✓	✓
Kinematische Viskosität <sup>1 2</sup>	✓						✓
Kälteverhalten <sup>1 2</sup>	✓			✓			✓
Zündwilligkeit <sup>1 2</sup>	✓						✓
Koksrückstand <sup>1 2</sup>	✓		✓				✓
Iodzahl <sup>2</sup>	✓		✓	(✓)		✓	✓
Schwefelgehalt <sup>1 2</sup>		✓	✓				(✓)
Gesamtverschmutzung <sup>1 2</sup>	✓						✓
Neutralisationszahl <sup>2</sup>	✓		✓	✓			✓
Oxidationsstabilität <sup>1 2</sup>	✓			✓			✓
Phosphorgehalt <sup>2</sup>	✓	✓	✓				✓
Summengehalt an Magnesium und Calcium <sup>2</sup>	✓	✓	✓				✓
Aschegehalt <sup>1 2</sup>	✓	✓	✓				✓
Wassergehalt <sup>1 2</sup>	(✓)			✓			✓

✓ große Bedeutung  
(✓) eingeschränkte Bedeutung

1 Anwendung bei Dieselmotoren  
2 Anwendung bei Fettsäuremethylester

Hanföl wird aus dem Samen der Hanfpflanze entweder durch ausschließlich mechanisches Abpressen (Kaltpressung oder Heißpressung) oder durch mechanisches Abpressen mit zusätzlicher Lösungsmittelextraktion mit zumeist anschließender Raffination gewonnen. Kaltgepresstes Hanföl ist hell- bis dunkelgrün und hat einen intensiv nussigen Geschmack [15]. In der Literatur werden verschiedene physikalisch-chemische Eigenschaften von Hanföl beschrieben. Eine Übersicht dazu zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: *Physikalisch-chemische Eigenschaften von Hanföl*

<b>Kenngröße</b>	<b>Angegebene Werte</b>	<b>Einheit</b>	<b>Literaturstelle</b>
Dichte bei 15 °C	0,924 – 0,932	kg/dm <sup>3</sup>	[3][5][6][7][12]
Flammpunkt	308	°C	[7]
Heizwert	36200 - 37100	kJ/kg	[3][6][7]
Kinematische Viskosität bei 40 °C	27,4 - 29,3	mm <sup>2</sup> /s	[6][7]
Cetanzahl	39,5	-	[7]
Koksrückstand	0,51 - 0,6	Masse-%	[6][7]
Jodzahl	140 - 175	g Jod/100 g	[5][6][7][8][9][12]
Aschegehalt	0,010 – 0,011	Masse-%	[6][7]
Schwefelgehalt	< 0,5	mg/kg	[7]
Verseifungszahl	190 -193	mg KOH/g	[5][8][12]
Unverseifbares	0,5 – 1	%	[5][8][9]
Erstarrungspunkt	-15 bis -27	°C	[5][9]

Die Fettsäurezusammensetzung von Hanföl ist in Tabelle 3 dargestellt. Mit einem Gehalt von 70 bis 80 % an Linol- und Linolensäure ist Hanföl besonders reich an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Deshalb zählt Hanföl, wie z.B.auch Leinöl, zu den schnelltrocknenden Ölen. [13]

Tabelle 3: *Fettsäurezusammensetzung von Hanföl und Rapsöl*

<b>Fettsäure</b>	<b>Anteil in Gew.-% am Gesamtfettsäuregehalt</b>	
	<b>Hanföl [13][14][15]</b>	<b>Rapsöl (mit geringem Erucasäuregehalt) [4]</b>
C 16:0 Palmitinsäure	3,2 – 6,6	2,5 – 7,0
C 18:0 Stearinsäure	1,6 – 3,2	0,8 – 3,0
C 18:1 Ölsäure	8,2 – 14,6	51,0 – 70,0
C 18:2 Linolsäure	54,8 – 59,6	15,0 – 30,0
C 18:3 Linolensäure	17,3 – 27,1	5,0 – 14,0
C 20:0 Arachinsäure	0,6 – 1,6	0,2 – 1,2
C 20:1 Eicosensäure	1,0 – 1,5	0,1 – 4,3

MEIER et al. (2004) [7] untersuchte neben weiteren Pflanzenölen auch Hanföl auf seine Eignung als Kraftstoff. Ermittelt wurden verschiedene Kennwerte, welche unter Zuhilfenahme des RK-Qualitätsstandards 05/2000 bewertet wurden. Für Hanföl wurden bei der Untersuchung ungünstige Kraftstoffeigenschaften, insbesondere eine hohe Jodzahl und eine geringe Oxidationsstabilität, festgestellt.

In einer Untersuchung von DOBAISCH (2000) [6] wurde der Einfluss verschiedener Pflanzenöle auf das Emissionsverhalten eines Stationärmotors bestimmt. Dabei zeigte sich, dass sich bei steigender Jodzahl des Kraftstoffes die Stickstoffoxid- ( $\text{NO}_x$ ) und Kohlenstoffmonoxidemissionen (CO) erhöhen. DOBAISCH (2000) verwendete bei seinen Emissionsuntersuchungen unter anderem auch Hanföl. Hinsichtlich der Eignung von Hanföl als Kraftstoff werden aber keine Angaben gemacht.

Weitere Untersuchungen zu Hanföl beziehen sich zumeist auf die Verwendung als Speiseöl [9][13][14][15]. Aufgrund des vorliegenden geringen Kenntnisumfangs zur Eignung von Hanföl als Kraftstoff ist es erforderlich kraftstoffrelevante Eigenschaften von Hanfölen unterschiedlicher Herstellungsverfahren zu ermitteln.

### 3 Methodik

Die Untersuchungen wurden an drei Hanfölprouben unterschiedlicher Herkünfte und Produktions- bzw. Aufbereitungsarten durchgeführt. In Tabelle 4 sind Daten zu Herkunft und Produktion der Hanfölprouben dargestellt, soweit diese von den Lieferanten bereitgestellt werden konnten.

Tabelle 4: Daten zu den untersuchten Hanfölprouben

	Hanföl kaltgepresst	Hanföl heißgepresst	Hanföl raffiniert
<b>Herstellungsart</b>	Kaltpressung Filtration	Heißpressung Filtration	Kaltpressung Filtration Raffination: Neutralisation Bleichung Desodorierung
<b>Herstellungsort</b>	unbekannt	unbekannt	England
<b>Herstellungsdatum</b>	September 2006	Dezember 2005	unbekannt
<b>Lagerungsbedingungen</b>	Luftdicht unter Stickstoffatmosphäre bei 8 bis 10 °C Lagerungstemperatur	Luftdicht unter Stickstoffatmosphäre bei 8 bis 10 °C Lagerungstemperatur	unbekannt

Nach Eingang der Hanfölprouben am Technologie- und Förderzentrum (TFZ) wurden diese hinsichtlich der Gesamtverschmutzung untersucht und je nach Bedarf mittels Membranfiltration aufbereitet um gleiche Ausgangsbedingungen für die Analysen der Hanfölprouben herzustellen.

Die aufbereiteten Hanfölprouben wurden am Technologie- und Förderzentrum und bei der Petrolab GmbH, Speyer analysiert und auf die Einhaltung der in der DIN V 51605 gelisteten Grenzwerte überprüft.

Zusätzlich wurde das Alterungsverhalten von Hanföl bei einer Lagerung mit Temperaturen von 20 °C, 40 °C und 80 °C untersucht. Als Bewertungskriterien werden die Analyseparameter Oxidationsstabilität und kinematische Viskosität herangezogen. Für die Alterungsversuche wurde die Probe „Hanföl raffiniert“ verwendet. Als Lagergefäße wurden nicht abgedeckte Petrischalen aus Kalk-Soda-Glas mit einem Durchmesser von 80 mm verwendet. Diese wurden mit 30 g Hanföl befüllt. Auf jedem Temperaturniveau wurden jeweils fünf gleiche Proben gelagert, von denen jede nach einer definierten Lagerdauer analysiert wurde. Dadurch kann, im Gegensatz zur Lagerung in nur einem Probengefäß, ein Einfluss von unterschiedlichen Füllmengen zu den Beprobungszeitpunkten auf den zeitlichen Verlauf der Alterung vermieden werden. Die Proben wurden in Wärmeschranken über einen Zeitraum von einer Woche dunkel „gealtert“.

Zum Vergleich wurde auch Rapsölkraftstoff zu den gleichen Bedingungen bei 80 °C gelagert und analysiert.

Weiterhin wurden Versuche mit Hanföl-Rapsöl-Gemischen durchgeführt, um zu überprüfen ob durch die Rapsölbeimischung positive Effekte hinsichtlich der Oxidationsstabilität von Hanföl und positive Effekte hinsichtlich des Kälteverhaltens von Rapsölkraftstoff erreicht werden können. Es wurden Mischungen mit Anteilen von 20, 50 und 80 Vol.-% Rapsölkraftstoff zu Hanföl hergestellt und hinsichtlich der entsprechenden Kennwerte untersucht. Die verwendeten Rapsölkraftstoffe erfüllen die Anforderungen gemäß DIN V 51605, Tabelle 5 zeigt eine Auswahl wichtiger Kennwerte.

*Tabelle 5: Kennwerte der verwendeten Rapsölkraftstoffe für die Versuche*

<b>Kenngröße</b>	<b>Methode</b>	<b>Einheit</b>	<b>Rapsöl für Alterungsversuche</b>	<b>Rapsöl für Hanföl-Rapsöl-Gemisch</b>
Dichte bei 15 °C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	920,0	919,5
Jodzahl	EN 14111	g Jod/100g	112	113
Schwefelgehalt	EN ISO 20884	mg/kg	1	< 5
Gesamtverschmutzung	EN 12662	mg/kg	6	12
Säurezahl	EN 14104	mg KOH/g	0,9	0,5
Oxidationsstabilität bei 110 °C	EN 14112	h	7,9	9,5
Phosphorgehalt	EN 14107	mg/kg	3	< 10
Summengehalt Calcium/Magnesium	EN 14538	mg/kg	14	< 10
Wassergehalt (nach Karl-Fischer)	EN ISO 12937	mg/kg	532	540

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden zuerst die „Probenaufbereitung“ und anschließend die Ergebnisse der Analysen der Kraftstoffkennwerte der Hanfölprouben dargestellt. Bei der Diskussion der Ergebnisse werden die Eigenschaften von Rapsölkraftstoff zum Vergleich herangezogen.

### 4.1 Probenaufbereitung

Die Hanfölprouben besaßen beim Probeneingang unterschiedliche Gehalte an Feststoffen (siehe Abbildung 1). Der Grenzwert der DIN V 51605 wurde von der Probe „Hanföl kaltgepresst“ um ein Vielfaches überschritten. Die beiden anderen Hanfölprouben bewegen sich innerhalb der Anforderungen der Vornorm für Rapsölkraftstoff. Die Feststoffe der Probe „Hanföl kaltgepresst“ wurden durch zweifache Membranfiltration am Technologie- und Förderzentrum entfernt, so dass diese danach eine Gesamtverschmutzung von 17 mg/kg aufwies. Bei den anderen Hanfölprouben war keine Aufbereitung notwendig.

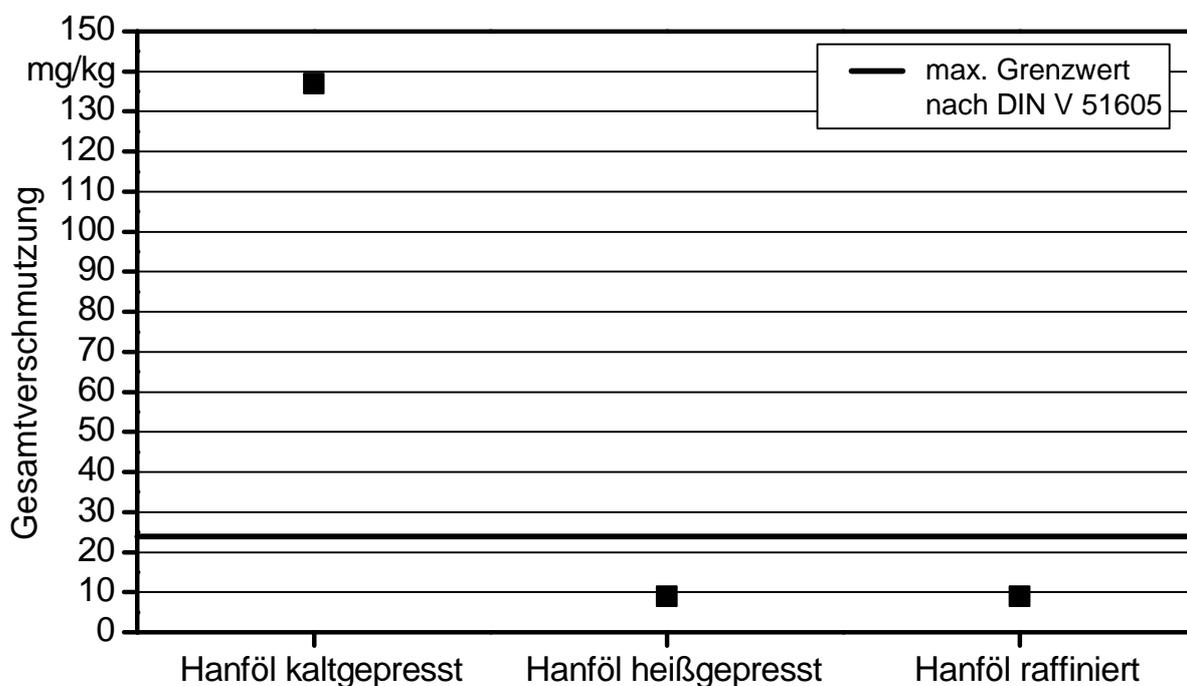
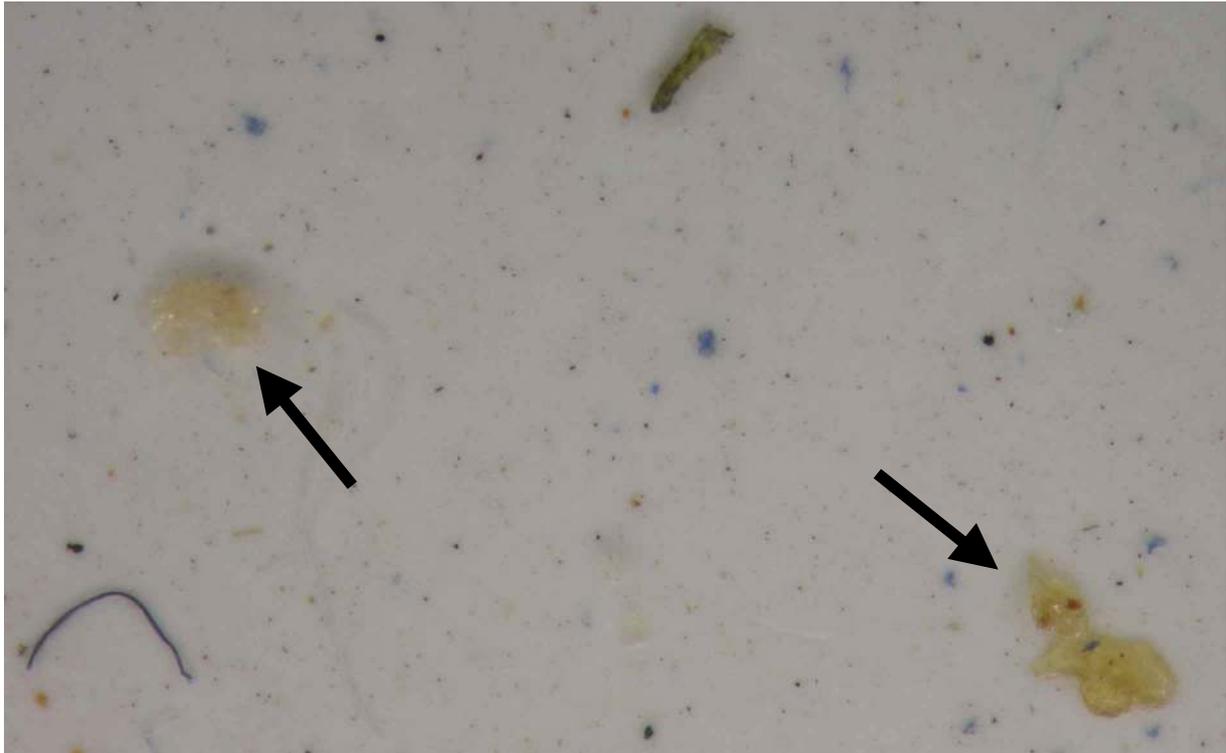


Abbildung 1: Gesamtverschmutzung (EN 12662) der Hanfölprouben bei Probeneingang

Bei Betrachtung der bei der Bestimmung der Gesamtverschmutzung verwendeten Filtermembranen unter einem Mikroskop, fielen bei der Probe „Hanföl kaltgepresst“ vor der Aufbereitung partikelförmige Polymerisationsrückstände auf (siehe Abbildung 2). Auch bei der Probe „Hanföl heißgepresst“ konnten solche Rückstände festgestellt werden. Die Probe „Hanföl raffiniert“ zeigte keine Auffälligkeiten.

Alle weiteren Ergebnisdarstellungen beziehen sich auf die aufbereitete (gefilterte) Hanfölproube „Hanföl kaltgepresst“.



*Abbildung 2: Partikelförmige Polymerisationsrückstände auf der Filtermembran der Probe „Hanföl kaltgepresst“ vor der Aufbereitung unter dem Mikroskop*

## **4.2 Allgemeine Eigenschaften der Hanfölproben**

### **4.2.1 Fettsäureverteilung**

In Abbildung 3 ist die Fettsäureverteilung der verschiedenen Hanfölproben dargestellt. Die Fettsäureverteilung ist genetisch festgelegt und unterscheidet sich zwischen den einzelnen Proben nur geringfügig. Im Mittel bestehen die Proben zu 55 % aus der zweifach ungesättigten Linol- und zu 18,5 % aus der dreifach ungesättigten Linolensäure. Die Probe „Hanföl heißgepresst“ verfügt über den geringsten Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Mit steigendem Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren nimmt üblicherweise die Lagerstabilität ab.

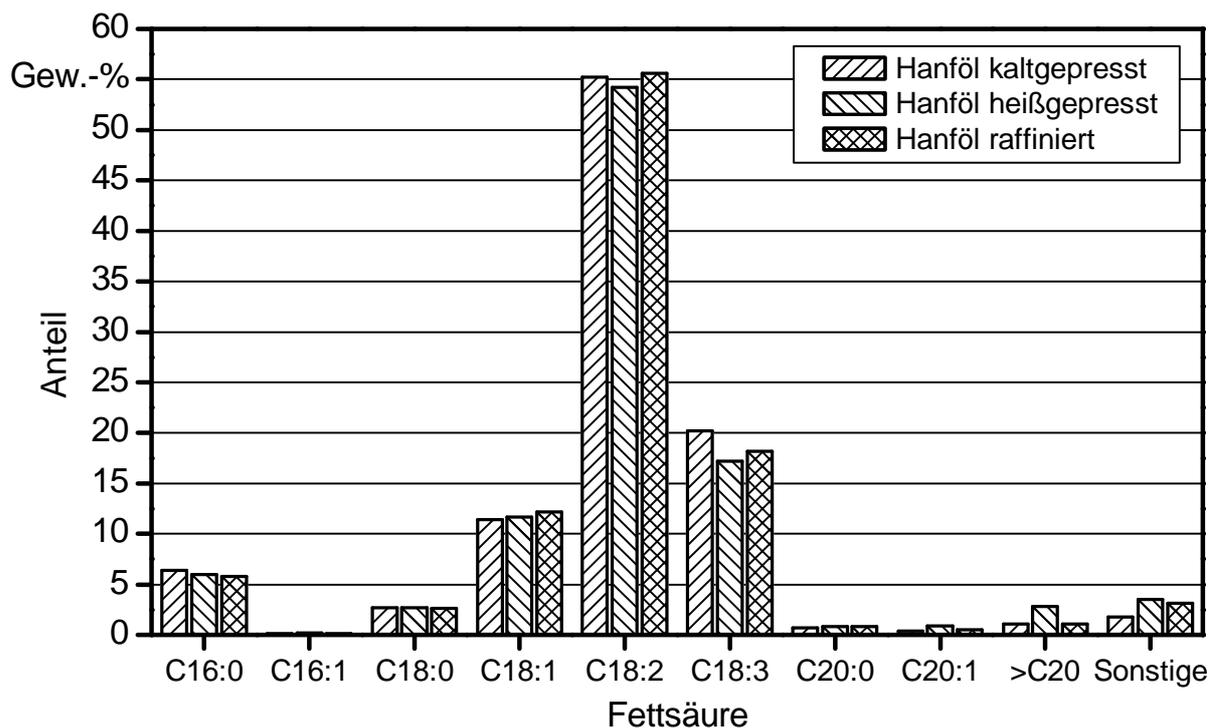


Abbildung 3: Fettsäureverteilung (EN 14103) von verschiedenen Hanfölpöproben

#### 4.2.2 Elementarzusammensetzung

Tabelle 6 zeigt, dass die Probe „Hanföl raffiniert“ eine ähnliche Elementarzusammensetzung aufweist wie Rapsölkraftstoff. Tendenziell ist ein höherer Kohlenstoff-, geringerer Wasserstoff- und höherer Sauerstoffgehalt bei Hanföl festzustellen. Dies lässt sich anhand des höheren Anteiles mehrfach ungesättigter Fettsäuren erklären. Dieselkraftstoff unterscheidet sich dagegen, insbesondere durch den weitaus geringeren Sauerstoffgehalt, deutlich von den beiden Pflanzenölen.

Tabelle 6: Elementarzusammensetzung von Hanföl, Rapsölkraftstoff und Dieselkraftstoff

	Kohlenstoff in Gew.-%	Wasserstoff in Gew.-%	Sauerstoff in Gew.-%	Stickstoff in Gew.-%
Hanföl raffiniert	77,7	11,3	11,0	< 0,005
Rapsölkraftstoff <sup>1</sup>	77,4	11,9	10,7	< 0,011
Dieseldkraftstoff <sup>1</sup>	86,0	13,6	0,4	0,050

<sup>1</sup> Mittelwert aus Analysedaten des Technologie- und Förderzentrums

### 4.2.3 Elementscreening

Die drei Proben wurden mittels ICP-OES<sup>2</sup> abgescannt, die detaillierten Elementgehalte sind dem Anhang zu entnehmen. Bei Betrachtung der Elemente, welche nicht von der DIN V 51605 erfasst werden, fällt bei der Probe „Hanföl heißgepresst“ ein sehr hoher Kaliumgehalt von 48 mg/kg auf. Die Proben „Hanföl kaltgepresst“ und „Hanföl heißgepresst“ enthalten Spuren von Eisen und Mangan. Ansonsten zeigen sich keine besonderen Auffälligkeiten.

### 4.2.4 Dynamische Viskosität

In Abbildung 4 ist das Kälteverhalten anhand der dynamischen Viskosität der verschiedenen Hanfölprouben bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min dargestellt. Bei der Bestimmung werden die Proben beginnend bei 20 °C zuerst auf -20 °C abgekühlt und danach wieder auf +20 °C aufgeheizt. Es sind vor allem im Temperaturbereich unter 0 °C deutliche Unterschiede zu erkennen. Die Probe „Hanföl raffiniert“ weist hier die niedrigste Viskosität auf, was sich vorteilhaft auf die Kältetauglichkeit beim Einsatz als Kraftstoff auswirkt. Die Ursachen für dieses unterschiedliche Verhalten liegen zum Teil in der voneinander abweichenden Fettsäurezusammensetzung begründet. Die höhere dynamische Viskosität der Probe „Hanföl heißgepresst“ lässt sich auf den geringeren Anteil an Linol- und Linolensäure zurückführen. Nach BOCKISCH (1993) [9] nimmt die Viskosität mit steigender Anzahl an Doppelbindungen im Triglycerid ab.

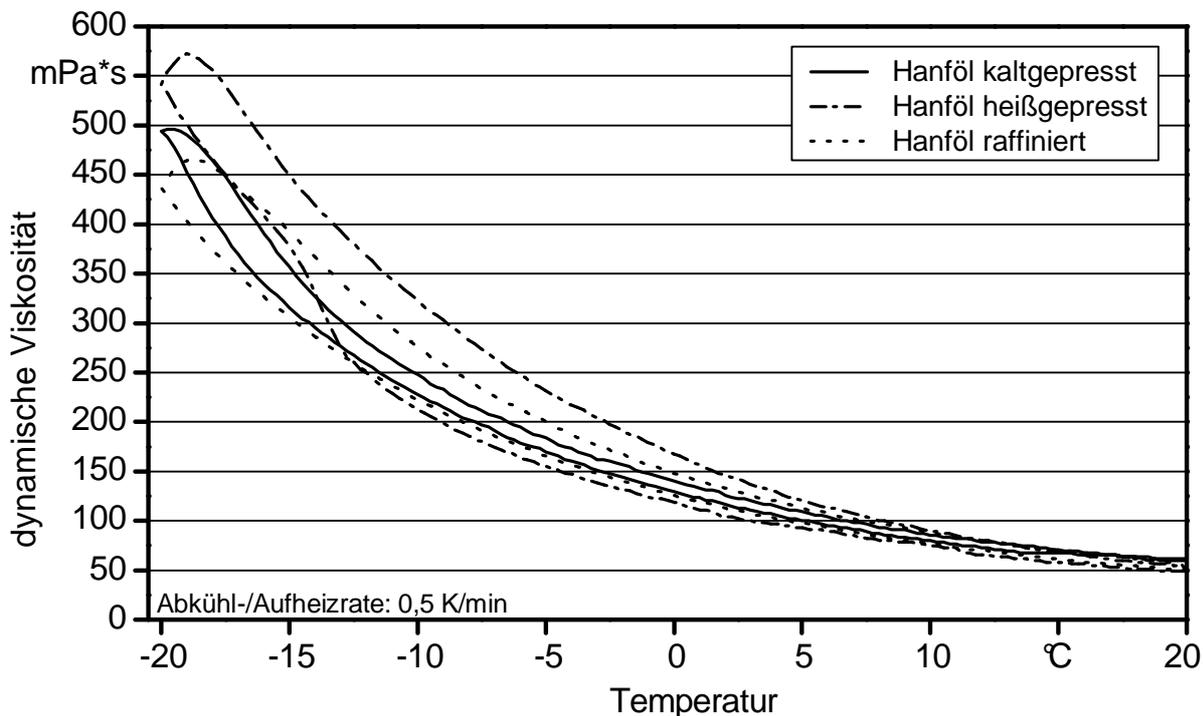


Abbildung 4: Dynamische Viskosität von verschiedenen Hanfölprouben, gemessen mit einem Rotationsviskosimeter, bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min

<sup>2</sup> Optische Atomemissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

### 4.3 Einhaltung der Anforderungen nach DIN V 51605

#### 4.3.1 Dichte

Die Hanfölprouben unterschiedlicher Herstellungsart weisen eine relativ konstante Dichte bei 15 °C auf (siehe Abbildung 5). Der Mittelwert beträgt 927,4 kg/m<sup>3</sup> bei einer Standardabweichung von 0,8 kg/m<sup>3</sup> und bewegt sich somit im Rahmen der geforderten Grenzwerte nach DIN V 51605. Im Vergleich zur Dichte von Rapsöl, welche im Mittel 919,9 kg/m<sup>3</sup> [4] beträgt, besitzt Hanföl eine ca. 8 % höhere Dichte. Die Ergebnisse der Analysen stimmen mit denen von MEIER et al. (2004) [7] und DOBAISCH (2000) [6] überein.

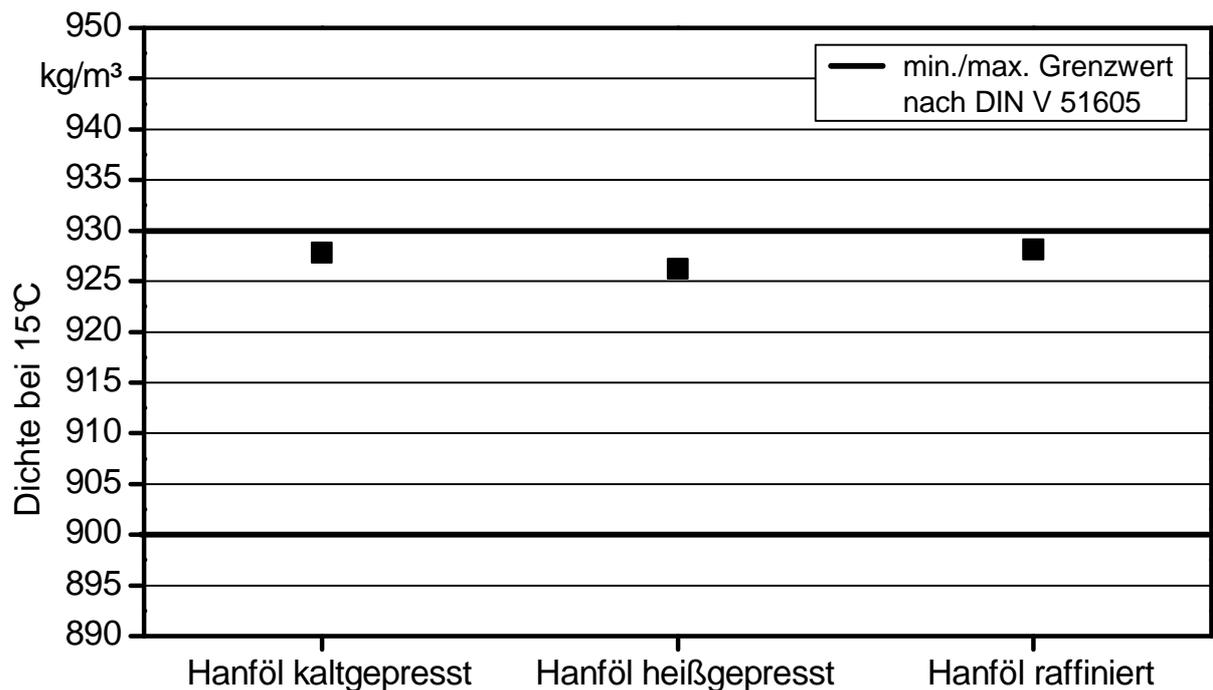


Abbildung 5: Dichte bei 15 °C (EN ISO 12185) von verschiedenen Hanfölprouben

### 4.3.2 Flammpunkt nach Pensky-Martens

Der Flammpunkt der verschiedenen Hanfölprouben zeigt sich mit einer Standardabweichung von 9,4 °C uneinheitlich (siehe Abbildung 6). Der Mittelwert liegt bei 226,0 °C. Die Probe „Hanföl heißgepresst“ kann die Anforderungen der DIN V 51605 nicht erfüllen, während die beiden anderen Hanföle den Grenzwert von 220 °C einhalten.

REMMELE (2002) [4] stellte bei der Untersuchung des Flammpunktes von Rapsöl ebenfalls eine hohe Standardabweichung von 8,2 °C fest. Der Mittelwert für Rapsöl liegt mit 231,4 °C [4] geringfügig über dem der drei Hanfölprouben.

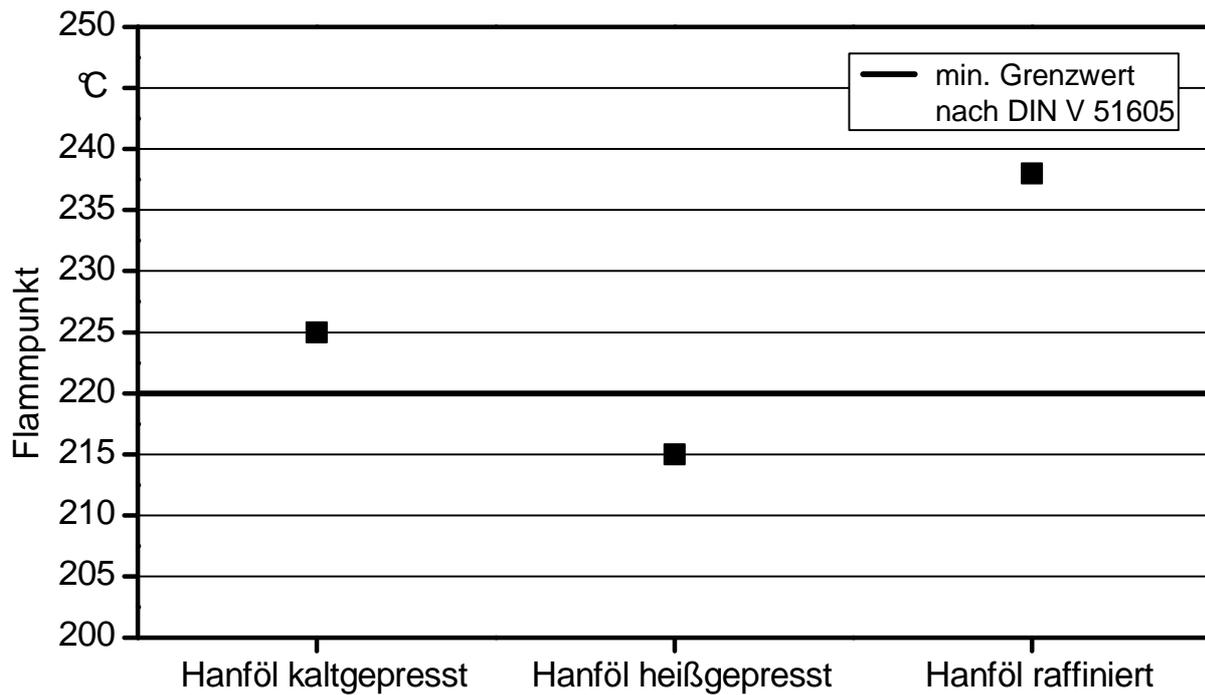


Abbildung 6: Flammpunkt (Pensky-Martens) (EN ISO 2719) von verschiedenen Hanfölprouben

### 4.3.3 Kinematische Viskosität bei 40 °C

Der Grenzwert der DIN V 51605 für die kinematische Viskosität von 36 mm<sup>2</sup>/s wird von allen untersuchten Hanfölprouben deutlich unterschritten und somit eingehalten (siehe Abbildung 7). Zwischen den verschiedenen Hanfölprouben zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Der Mittelwert liegt bei 27,4 mm<sup>2</sup>/s, bei einer Standardabweichung von 0,7 mm<sup>2</sup>/s. Im Vergleich zu Rapsölkraftstoff mit einer mittleren kinematischen Viskosität von 35,1 mm<sup>2</sup>/s [4] weist Hanföl eine deutlich geringere Viskosität auf. Die geringere kinematische Viskosität lässt sich, wie auch in Kapitel 4.2.4 beschrieben, durch den höheren Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren erklären.

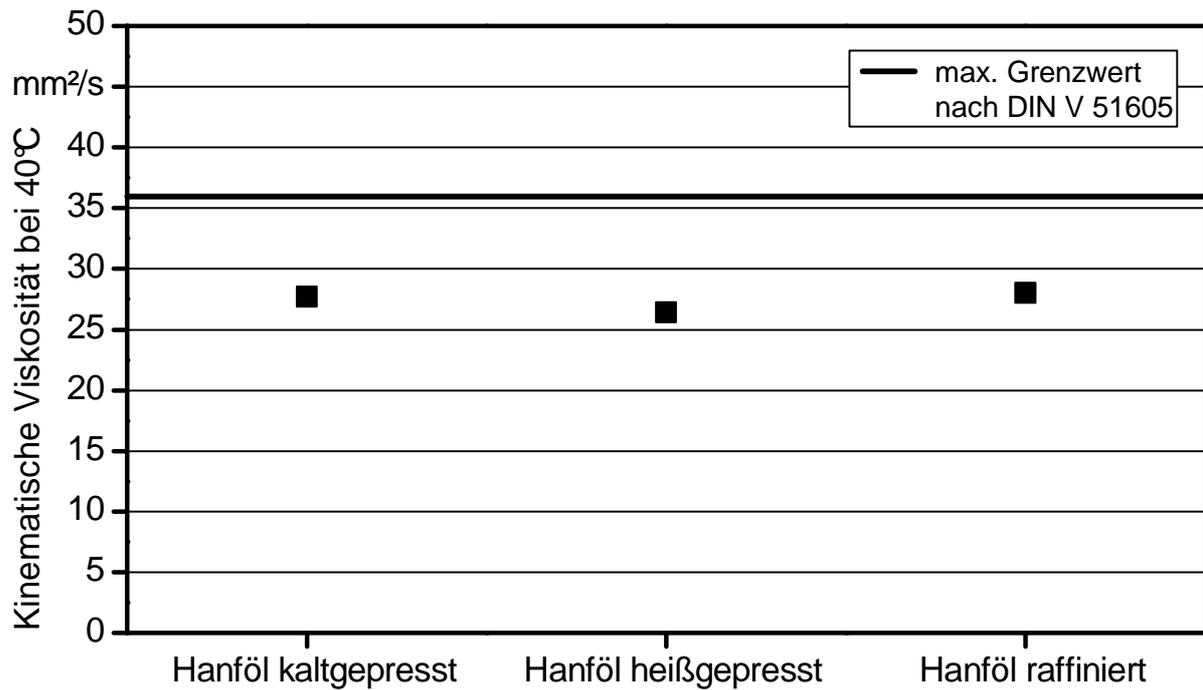


Abbildung 7: Kinematische Viskosität bei 40 °C (EN ISO 3104) von verschiedenen Hanfölprouben

#### 4.3.4 Cetanzahl

Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass die Cetanzahl als Maß für die Zündwilligkeit von Kraftstoffen von allen Hanfölprouben eingehalten werden kann. Zwischen den einzelnen Hanfölprouben zeigen sich deutliche Unterschiede, die Werte betragen zwischen 43,5 und 48,7. Die Probe „Hanföl kaltgepresst“ weist dabei die höchste Cetanzahl und somit beste Zündwilligkeit auf. Die Cetanzahl von Rapsölkraftstoff liegt im Bereich von Hanföl. Für Dieselmkraftstoff schreibt die EN 590 eine Cetanzahl von mindestens 51 vor.

Für die Bestimmung der Cetanzahl ist derzeit noch kein geeignetes Prüfverfahren für den Anwendungsfall Pflanzenöl verfügbar. Deshalb ist eine Beurteilung der Eignung von Hanföl als Kraftstoff anhand der Zündwilligkeit nicht in ausreichendem Maße möglich.

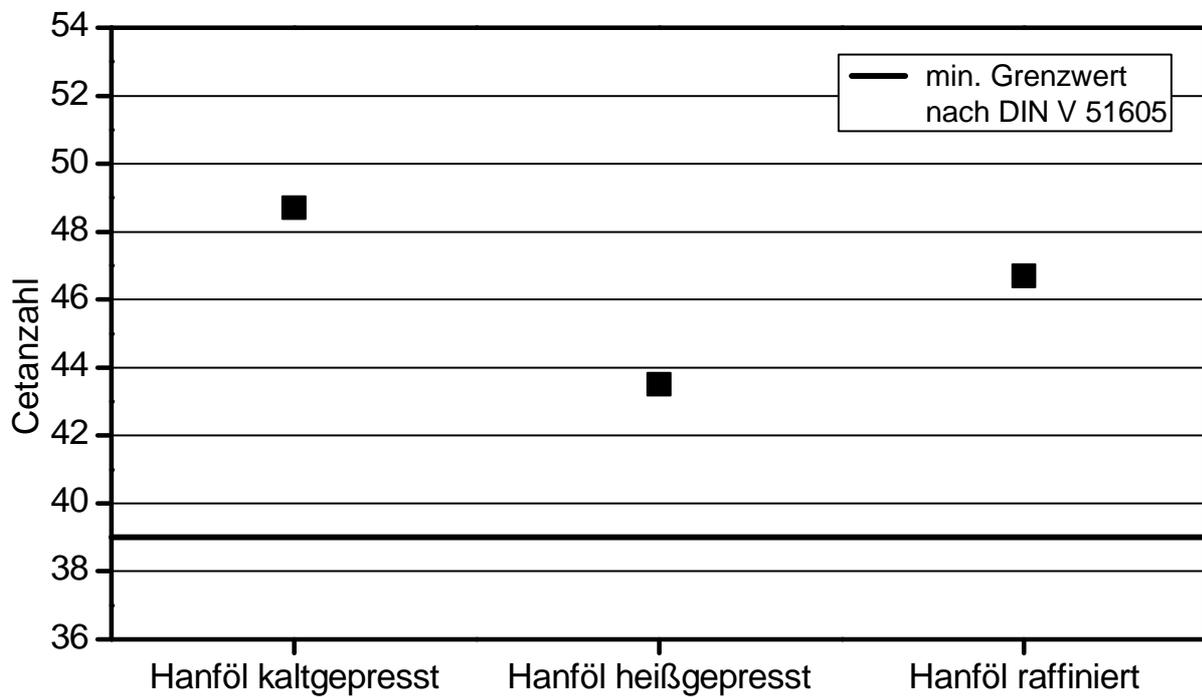


Abbildung 8: Cetanzahl (DIN 51773, modifiziert) von verschiedenen Hanfölprouben

### 4.3.5 Heizwert

Die Anforderungen der DIN V 51605 hinsichtlich des Heizwerts werden von allen Hanfölprouben erfüllt (siehe Abbildung 9). Der Mittelwert liegt bei 36.587 kJ/kg mit einer Standardabweichung von 88 kJ/kg. Es sind keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Hanfölprouben festzustellen. Für Rapsölkraftstoff liegen typische mittlere Heizwerte im Bereich von 37.500 kJ/kg [20]. Hanföl weist einen geringfügig niedrigeren Heizwert als Rapsölkraftstoff auf. MEIER et al. (2004) [7] kommt zu einem ähnlichen Ergebnis, während DOBAISCH (2000) [6] einen höheren Heizwert für Hanföl von 37.500 kJ/kg ermittelte.

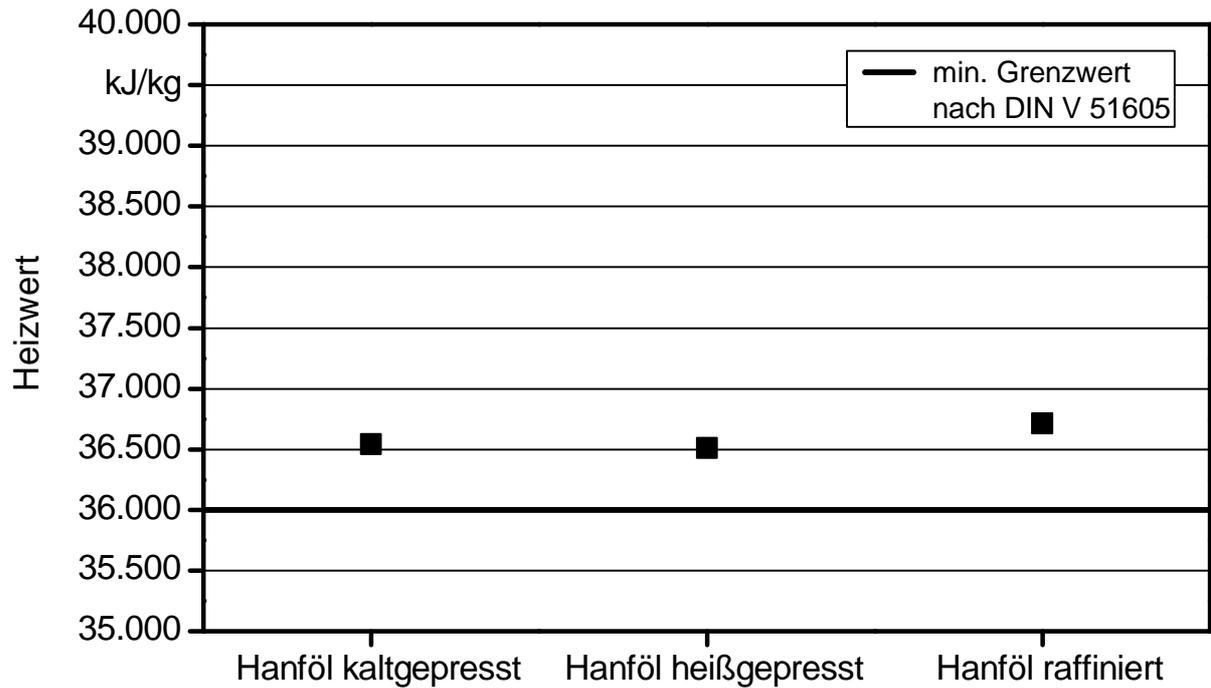


Abbildung 9: Heizwert (DIN 51900-1,-3) von verschiedenen Hanfölprouben

#### 4.3.6 Koksrückstand

Alle untersuchten Hanfölprouben überschreiten den maximalen Grenzwert der DIN V 51605 um ca. 38 bis 105 %. (siehe Abbildung 10). Die Probe „Hanföl kaltgepresst“ weist den vergleichsweise besten Koksrückstand mit 0,55 Gew.-% auf. Der Mittelwert liegt bei 0,66 Gew.-%, bei einer Standardabweichung von 0,12 Gew.-%.

Rapsöl verfügt über einen mittleren Koksrückstand von 0,28 Gew.-%. Der Koksrückstand ist ein Maß für die Verkokungsneigung des Kraftstoffs an den Einspritzdüsen und für die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum eines Motors. [4][16]

Hinsichtlich dieses Kennwerts ist die Verwendung der untersuchten Hanföle als Kraftstoff nachteilig. Hier müssten weitere Untersuchungen an mehreren verschiedenen Hanfölprouben durchgeführt werden, um festzustellen, ob dieser erhöhte Koksrückstand charakteristisch für Hanföl ist. Gegebenenfalls könnte weiterhin untersucht werden, inwiefern durch Zugabe von Additiven diese verkokungsfördernde Eigenschaft bei Hanföl beeinflusst werden kann, bzw. ob Hanföl als Beimischung zu anderen Pflanzenölen verwendet werden kann.

MEIER et al. (2003) [7] und DOBAISCH (2000) [6] stellten ebenfalls einen Koksrückstand über dem Grenzwert gemäß der DIN V 51605 fest.

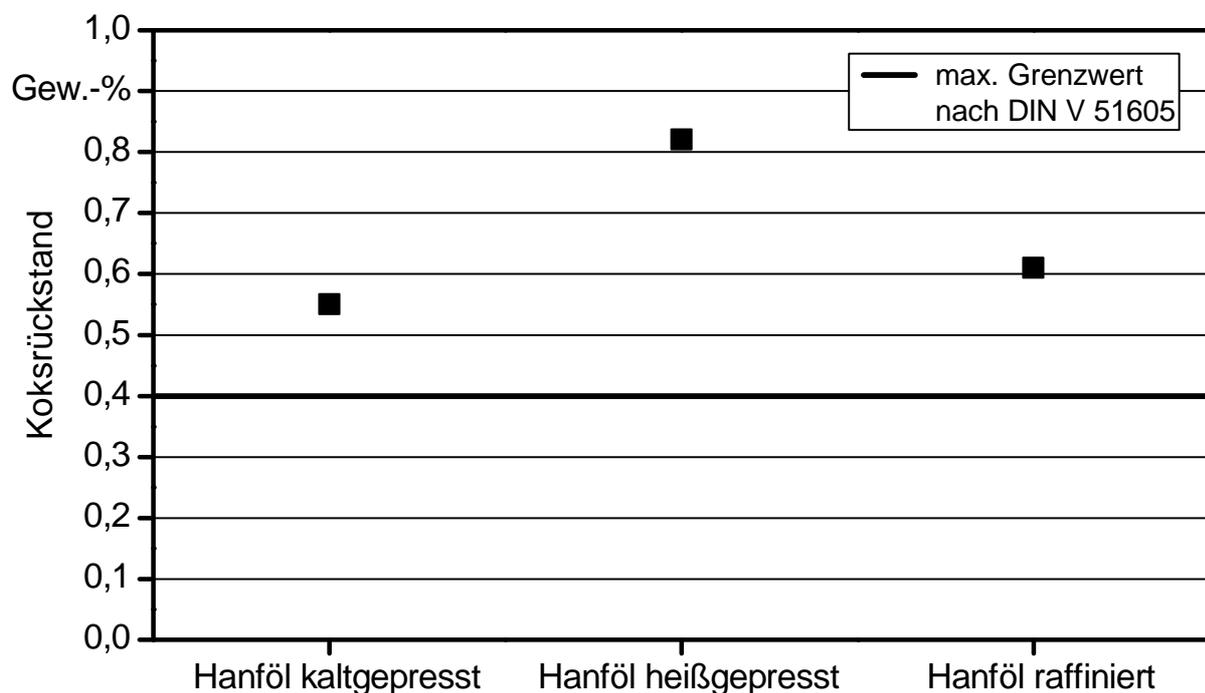


Abbildung 10: Koksrückstand (EN ISO 10370) für verschiedene Hanfölprouben

### 4.3.7 Jodzahl

Der Grenzwert für die Jodzahl der DIN V 51605, kann für die verschiedenen Hanfölprouben erwartungsgemäß nicht eingehalten werden. Die Jodzahl stellt mit einem Mittelwert von 163 g Jod/100g und einer Standardabweichung von 0 g Jod/100g eine charakteristische Eigenschaft von Hanföl dar und liegt deutlich über den Werten von Rapsölkraftstoff.

Die Jodzahl ist ein Maß für die Anzahl an Doppelbindungen im Pflanzenölmolekül und gibt Auskunft über die Neigung zur Bildung von Ablagerungen im Brennraum und an den Einspritzdüsen. Umso höher die Jodzahl, desto höher ist diese Neigung. Weiterhin erhöht sich bei Pflanzenölen mit hoher Jodzahl die Gefahr der Motoröleindickung bei einem Eintrag ins Motorenöl. Auch die Lagerstabilität nimmt mit steigender Jodzahl ab. [4][16]

Dobaisch (2000) [6] stellte fest, dass Pflanzenöle bei der Verbrennung in einem stationären Dieselmotor mit steigender Jodzahl höhere Stickstoffoxid- und Kohlenmonoxidemissionen aufweisen.

Hinsichtlich dieses Kennwertes ist also der Einsatz von Hanföl als Kraftstoff problematisch.

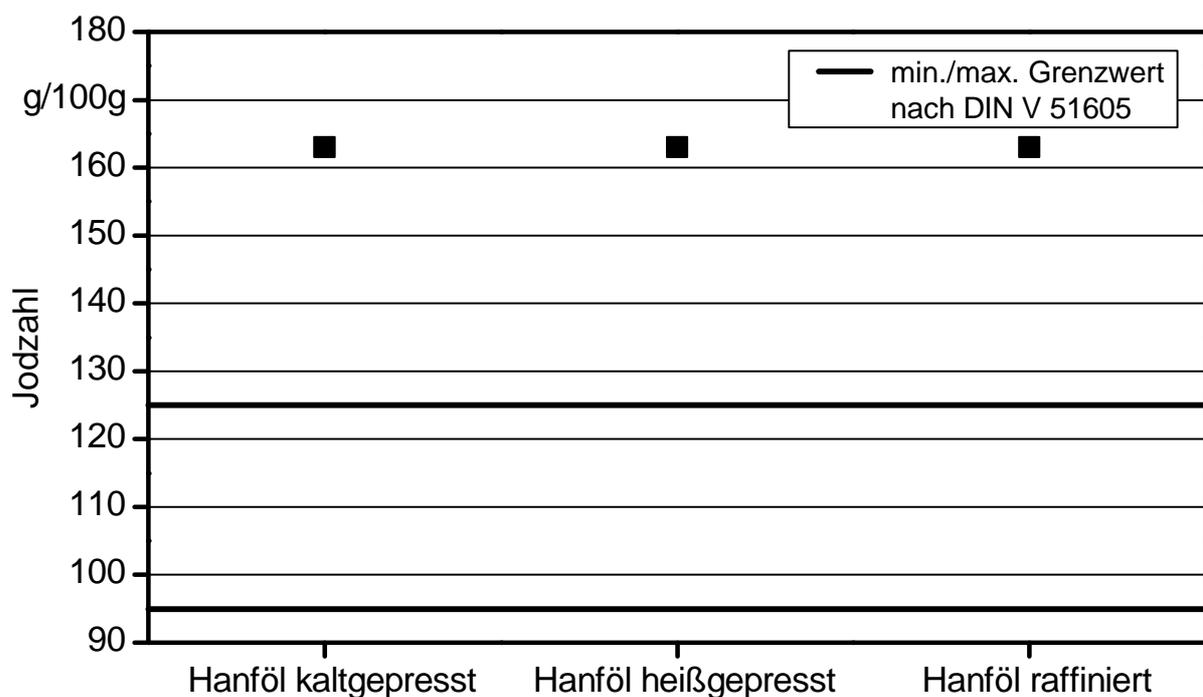


Abbildung 11: Jodzahl (EN 14111) von verschiedenen Hanfölprouben

#### 4.3.8 Schwefelgehalt

Die Anforderungen der DIN V 51605 an den Schwefelgehalt können von allen untersuchten Hanfölprouben ohne Probleme eingehalten werden. Bei der Probe „Hanföl kaltgepresst“ und der Probe „Hanföl raffiniert“ konnte mit dem in der DIN V 51605 genannten Messverfahren kein Schwefel nachgewiesen werden. Bei der Verbrennung der untersuchten Hanfölprouben sind folglich, ebenso wie bei Rapsölkraftstoff, kaum schwefelhaltige Abgasemissionen zu erwarten.

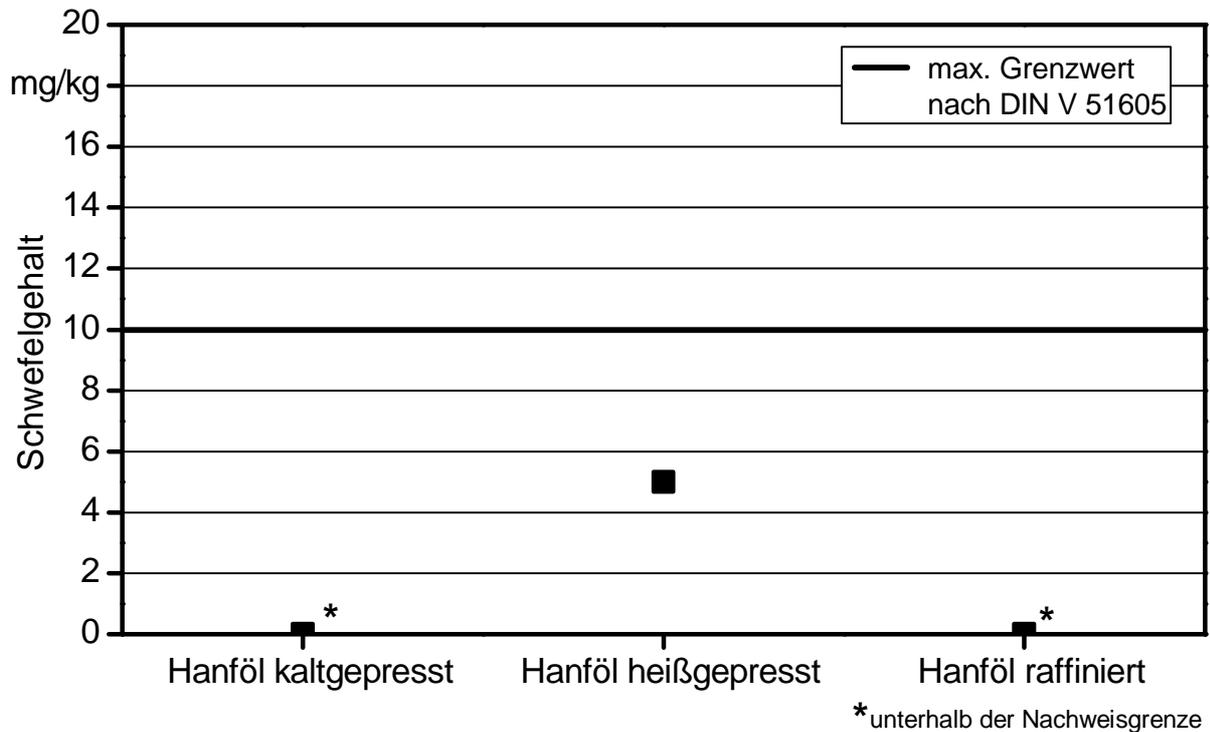


Abbildung 12: Schwefelgehalt (EN ISO 20884) von verschiedenen Hanfölprouben

### 4.3.9 Gesamtverschmutzung

Die Hanfölprouben erfüllen alle, im Falle von „Hanföl kaltgepresst“ erst nach erfolgter Filtration am Technologie- und Förderzentrum, die Anforderungen gemäß der DIN V 51605 hinsichtlich der Gesamtverschmutzung von maximal 24 mg/kg. Die Analysen wurden sowohl bei der Petrolab GmbH (Labor 1), als auch am Technologie- und Förderzentrum (Labor 2) durchgeführt und zeigen eine gute Übereinstimmung (siehe Abbildung 13).

Durch entsprechende Filtrationstechnik lässt sich auch bei Hanföl stets die geforderte Ölrinheit von 24 mg/kg Gesamtverschmutzung erreichen.

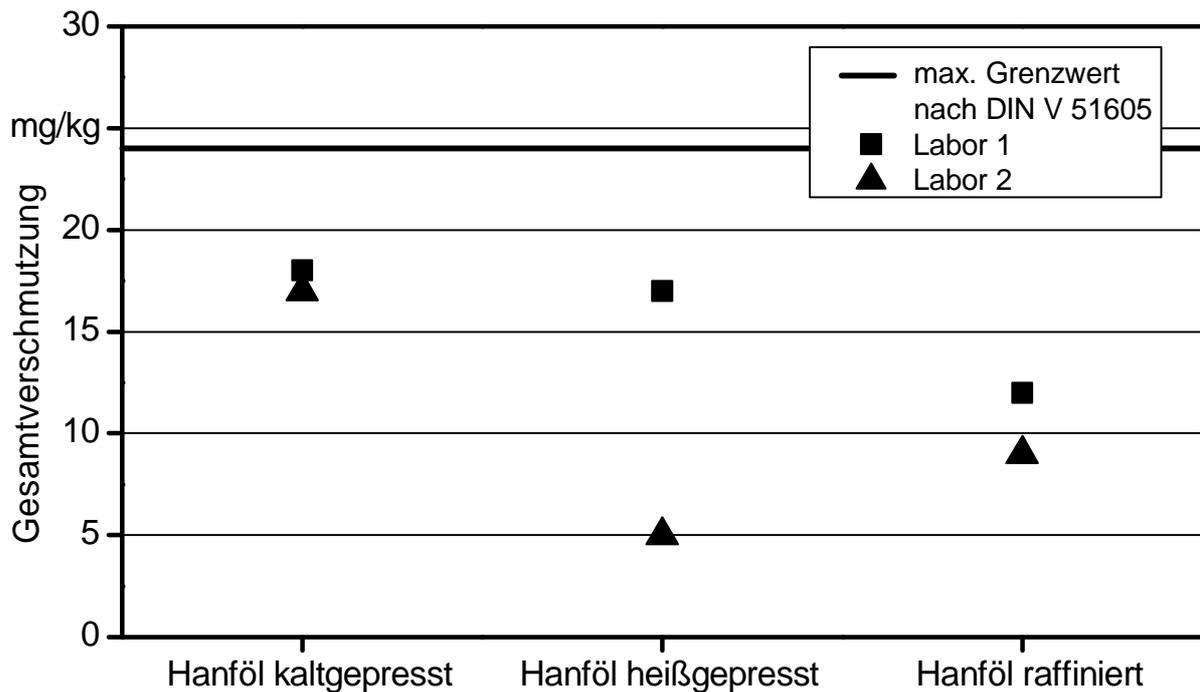


Abbildung 13: Gesamtverschmutzung (EN 12662) von verschiedenen Hanfölprouben nach Probenaufbereitung

#### 4.3.10 Säurezahl

Die Anforderungen an die Säurezahl von max. 2,0 mg KOH/g gemäß DIN V 51605 werden nur von der Probe „Hanföl raffiniert“ eingehalten. Insbesondere die Probe „Hanföl heißgepresst“ weist aufgrund des wenig schonenden Herstellungsverfahrens ohne nachgeschaltete Raffination eine extrem hohe Säurezahl von 34,3 mg KOH/g auf.

Die Säurezahl beschreibt die Anzahl freier Fettsäuren im Pflanzenöl. Ein hoher Anteil von sauren Verbindungen im Kraftstoff führt zu Korrosion, Verschleiß und Rückstandsbildung an Motorbauteilen. Außerdem kann es zu Reaktionen mit den basischen Komponenten und damit Schädigung des Motorenöles kommen. [4][16]

Der Kraftstoffeinsatz der Proben „Hanföl kaltgepresst“ und insbesondere „Hanföl heißgepresst“ erscheint aufgrund der hohen Säurezahlen bedenklich. Durch den Prozessschritt der Raffination können jedoch diese nachträglich reduziert werden, indem die freien Fettsäuren neutralisiert werden. Zur Beurteilung, ob unraffinierte Hanföle prinzipiell den Grenzwert nicht einhalten können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig. Es ist nicht auszuschließen, dass bei der Produktion der vorliegenden kaltgepressten Hanfölprobe beispielsweise ungünstige Einstellungen an der Ölpresse zu diesem erhöhten Gehalt an freien Fettsäuren geführt haben. MEIER et al. (2003) [7] und DOBAISCH (2000) [6] stellten jedoch ebenfalls Säurezahlen über dem Grenzwert gemäß der DIN V 51605 fest.

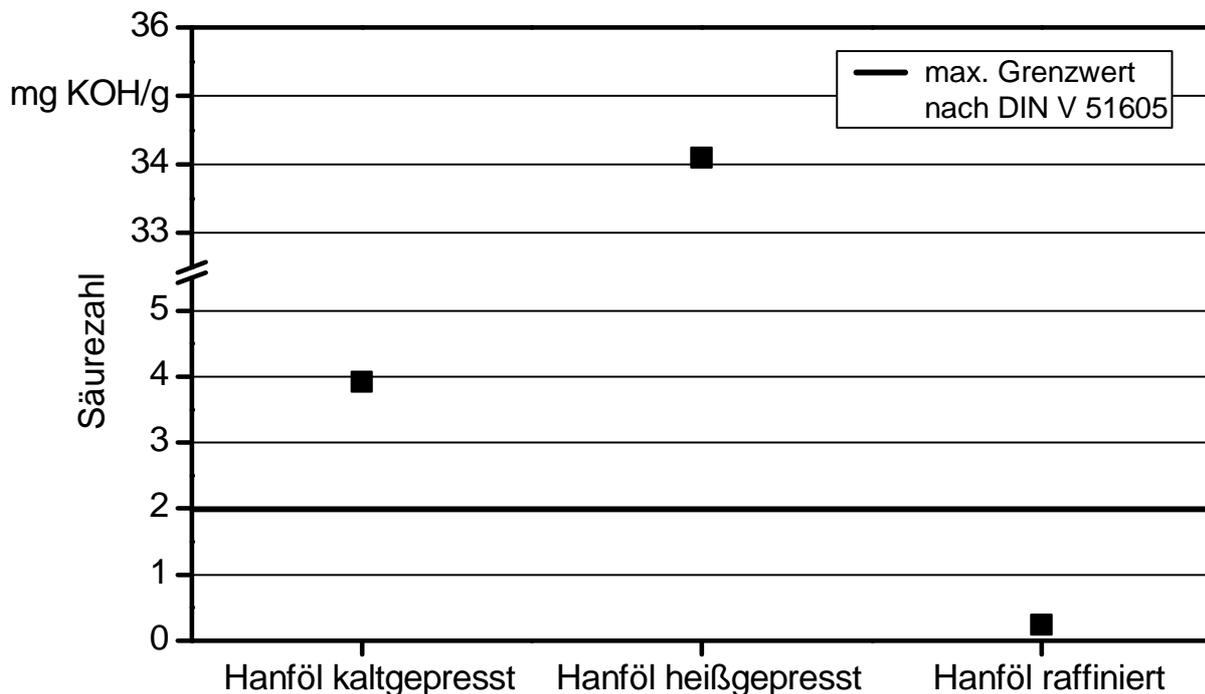


Abbildung 14: Säurezahl (EN 14104) von verschiedenen Hanfölsproben

### 4.3.11 Oxidationsstabilität

Alle untersuchten Hanfölprouben können erwartungsgemäß die in der DIN V 51605 geforderte Oxidationsstabilität von mindestens 6 h nicht einhalten. Die Analysen wurden sowohl bei der Petrolab GmbH (Labor 1) als auch am Technologie- und Förderzentrum (Labor 2) durchgeführt und weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf (siehe Abbildung 15). Ursache für die geringe Oxidationsstabilität ist der hohe Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Hanföl (siehe Abbildung 3). Die Probe „Hanföl heißgepresst“ weist die vergleichsweise beste Oxidationsstabilität auf und besitzt ebenso den geringsten Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Vor allem die mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind anfällig gegen Oxidationsprozesse.

Die Oxidationsstabilität beschreibt die Lagerfähigkeit von Pflanzenölen und kann Auskunft über den Alterungszustand geben. Bei der Lagerung können Oxidations- und Polymerisationsvorgänge zur Bildung öllunlöslicher Polymere führen [4]. Niedrige Oxidationsstabilitäten können Verharzungen an Einspritzpumpenelementen, Düsenadeln, Kolbenringen und im Tank verursachen. Zudem erhöht sich die Gefahr der Schmieröleindickung bei einem Eintrag ins Schmieröl. [16]

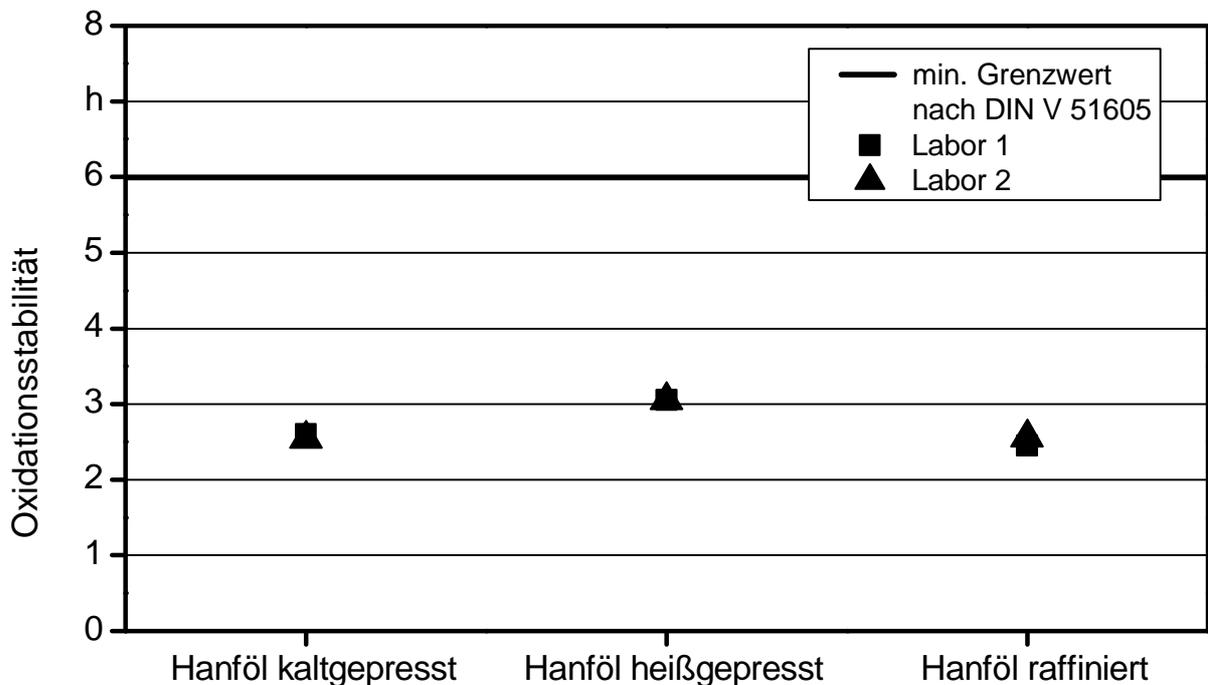


Abbildung 15: Oxidationsstabilität (EN 14112) von verschiedenen Hanfölprouben

### 4.3.12 Phosphorgehalt

Die Anforderungen der DIN V 51605 für den Phosphorgehalt können nur von der Probe „Hanföl raffiniert“ eingehalten werden. Hier befindet sich der Wert unter der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens. Den mit Abstand höchsten Gehalt an Phosphor weist mit 93 mg/kg die Probe „Hanföl heißgepresst“ auf, beim „Hanföl kaltgepresst“ betrug der Phosphorgehalt 24 mg/kg.

Phosphor liegt in Pflanzenölen in Form von Phospholipiden vor. Diese neigen zur Hydratisierung und können dadurch Filterverstopfungen auslösen. Phosphor im Kraftstoff wirkt als Aschebildner und führt zu Ablagerungen im Brennraum, an Ventilen und Katalysatoren. [4][16]

Der Kraftstoffeinsatz der Proben „Hanföl kaltgepresst“ und „Hanföl heißgepresst“ ist für einen verlässlichen Betrieb eines pflanzenölauglichen Dieselmotors nicht möglich. Durch den Prozessschritt der Raffination kann jedoch der Phosphorgehalt nachträglich abgesenkt werden. Zur Beurteilung, ob unraffinierte Hanföle prinzipiell den Grenzwert nicht einhalten können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig. Es ist möglich, dass bei schonender Verarbeitung der Hanfsaat ein geringerer Phosphorgehalt erzielt werden kann. MEIER et al. (2004) [7] konnte im Kaltpressverfahren Hanföl mit einem Phosphorgehalt unterhalb des Grenzwertes der DIN V 51605 herstellen.

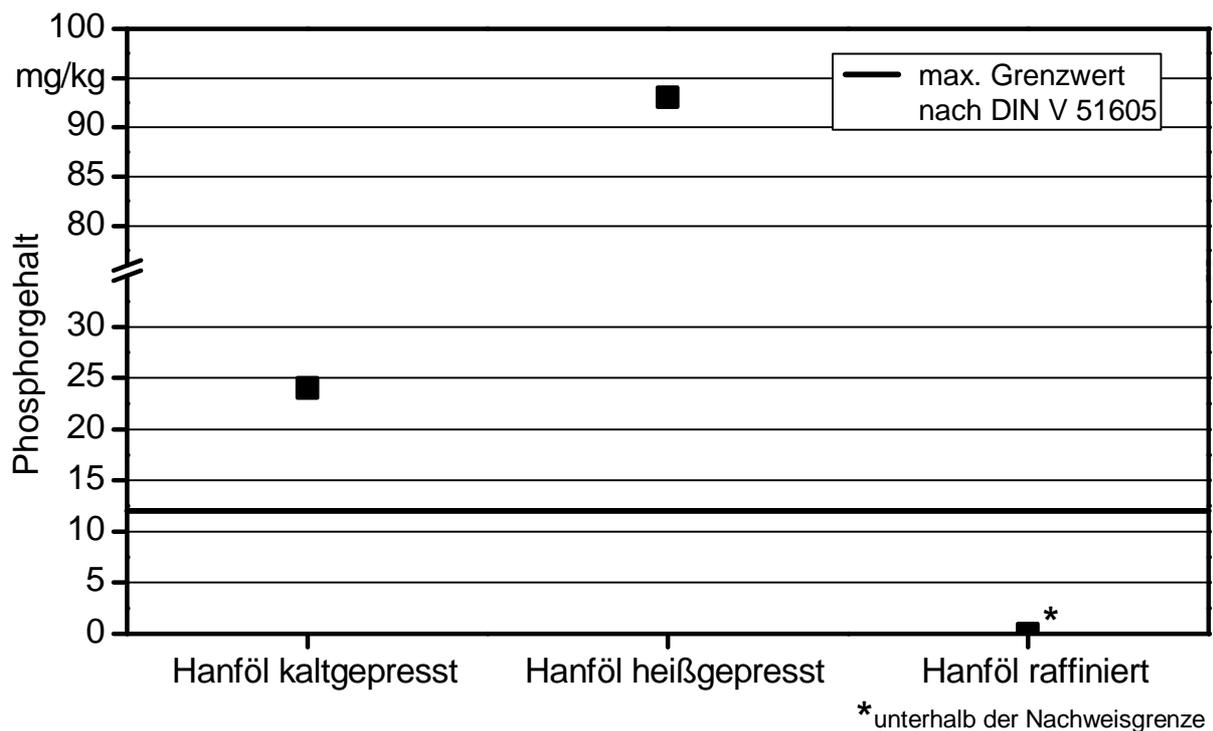


Abbildung 16: Phosphorgehalt (EN 14107) der untersuchten Hanfölsproben

### 4.3.13 Calcium- und Magnesiumgehalt

Die Anforderungen der DIN V 51605 an den Summengehalt Calcium- und Magnesium können von den Proben „Hanföl kaltgepresst“ und „Hanföl raffiniert“ eingehalten werden. Die Probe „Hanföl heißgepresst“ überschreitet den Grenzwert von maximal 20 mg/kg um ein Vielfaches. Auffällig ist, dass für die Probe „Hanföl raffiniert“ mit dem in der Vornorm genannten Prüfverfahren weder Calcium noch Magnesium nachgewiesen werden konnte. Über den Prozessschritt der Raffination werden diese Elemente stark reduziert bzw. entfernt. Beim „Hanföl kaltgepresst“ liegt der Wert für den Calciumgehalt bei 16 mg/kg, Magnesium konnte darin nicht nachgewiesen werden.

Hohe Gehalte an Calcium- und Magnesium wirken wie Phosphor als Aschebildner und führen zu Ablagerungen im Brennraum, an Ventilen und im Abgasturbolader. Die Wirkung von Katalysatoren kann ebenfalls beeinträchtigt werden. [16]

Hanföl in der Qualität der Probe „Hanföl heißgepresst“ ist demnach im Gegensatz zu den beiden anderen Proben hinsichtlich des Calcium- und Magnesiumgehaltes für einen verlässlichen Betrieb von Motoren ungeeignet.

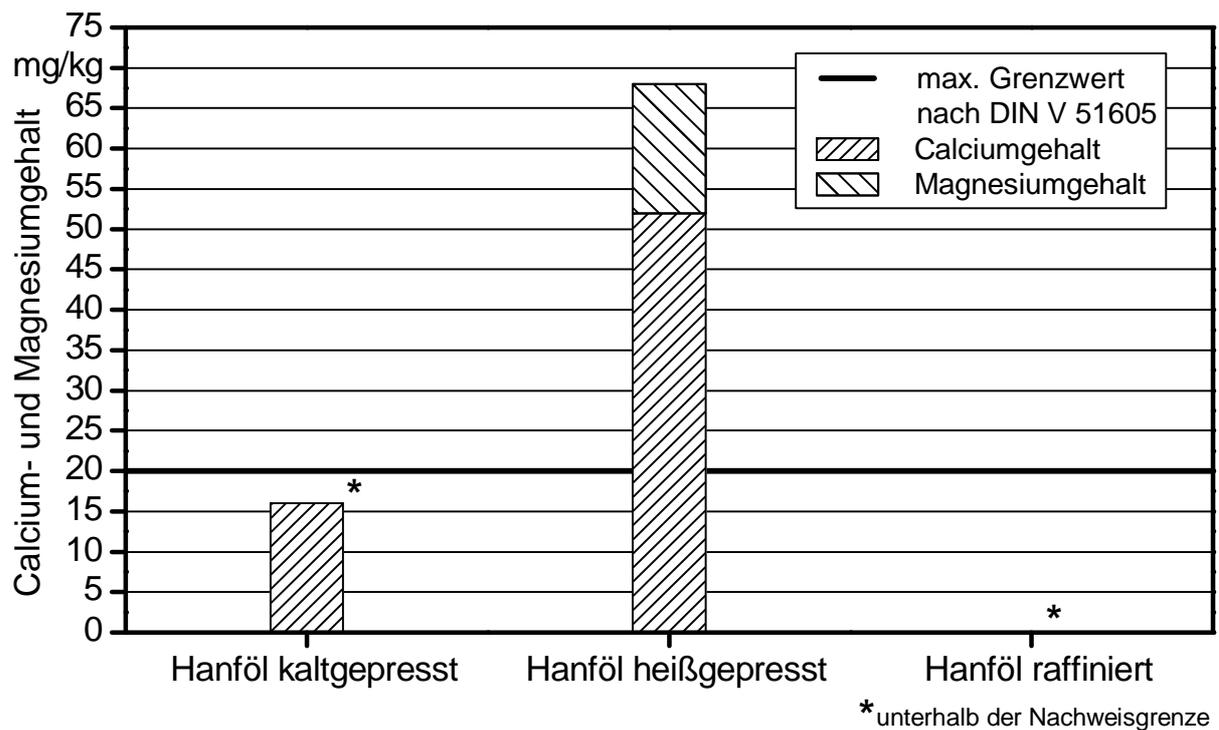


Abbildung 17: Calcium- und Magnesiumgehalt (EN 14538) von verschiedenen Hanfölaproben

#### 4.3.14 Aschegehalt (Oxidasche)

Der Grenzwert für den Aschegehalt gemäß der DIN V 51605 wird von der Probe „Hanföl raffiniert“ sehr gut eingehalten. Die beiden anderen Proben zeigen deutlich erhöhte Aschegehalte von 0,016 Gew.-% („Hanföl kaltgepresst“) bzw. 0,057 Gew.-% („Hanföl heißgepresst“).

Ein zunehmender Anteil an Oxidasche vergrößert die Gefahr von Abrasion (Verschleiß) in Einspritzpumpe, in den Einspritzdüsen und im Brennraum [4].

Die Proben „Hanföl kaltgepresst“ und vor allem „Hanföl heißgepresst“ können ohne weitere Aufarbeitung wegen des hohen Aschegehalts nicht als Kraftstoff eingesetzt werden. Zur Beurteilung, ob unraffinierte Hanföle prinzipiell den Grenzwert nicht einhalten können, sind weitergehende Untersuchungen notwendig. Es ist nicht auszuschließen, dass bei der Produktion der vorliegenden Hanfölprouben sekundäre Verunreinigungen, beispielsweise Verschmutzungen der Saat, zu den Grenzwertüberschreitungen geführt haben.

Darüber hinaus ist anzunehmen, dass sich die hohen Gehalte an Calcium, Magnesium, Phosphor und Kalium im „Hanföl heißgepresst“ ebenfalls auf die Oxidasche auswirken.

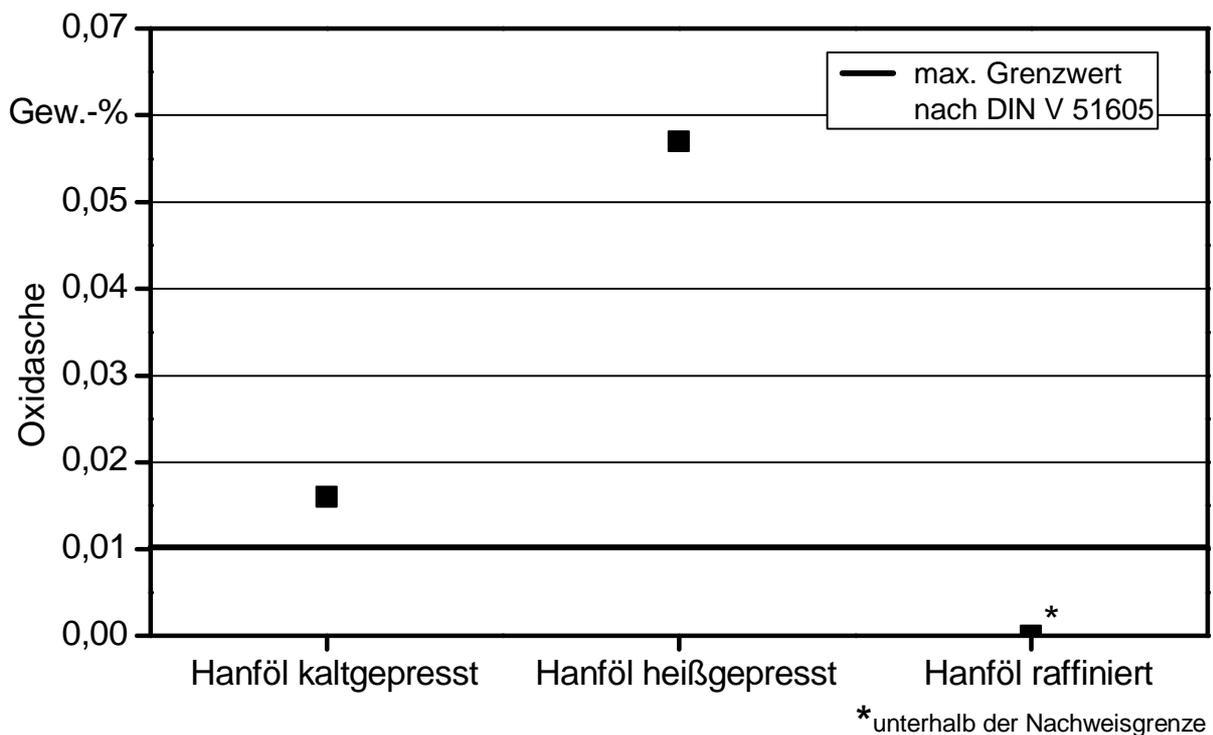


Abbildung 18: Gehalt an Oxidasche (EN ISO 6245) von verschiedenen Hanfölprouben

#### 4.3.15 Wassergehalt

Der Grenzwert der DIN V 51605 von 750 mg/kg für den Wassergehalt wird von den Proben „Hanföl kaltgepresst“ und „Hanföl raffiniert“ sicher eingehalten. Die Probe „Hanföl heißgepresst“ erfüllt mit 720 mg/kg den Grenzwert jedoch nur knapp.

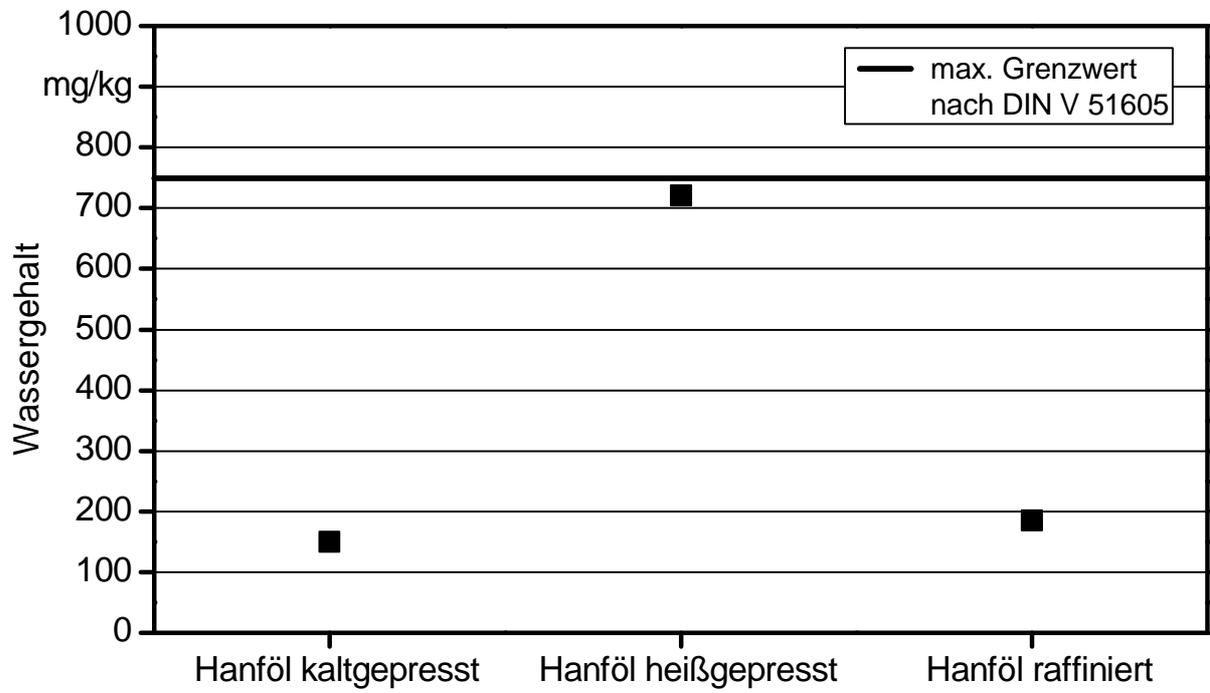


Abbildung 19: Wassergehalt nach Karl Fischer (EN ISO 12937) von verschiedenen Hanfölprou-  
ben

#### 4.4 Alterungsverhalten von Hanföl

Abbildung 20 zeigt den Verlauf der Oxidationsstabilität von Hanföl und Rapsöl bei siebentägiger Lagerung (168 h) bei verschiedenen Temperaturen. Es ist sehr deutlich der Einfluss der höheren Lagertemperaturen auf die Oxidationsstabilität zu erkennen. Wird Hanföl bei einer Temperatur von 80 °C über ca. 72 h gelagert, so sinkt die Oxidationsstabilität mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,04 h pro Stunde Lagerzeit auf null ab. Bei Rapsöl, welches bei 80 °C gelagert wird, sinkt die Oxidationsstabilität zwischen null und 72 Stunden Lagerzeit mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,10 h pro Stunde zwar schneller ab, aber aufgrund der weitaus besseren Ausgangsoxidationsstabilität kann Rapsöl selbst nach 24 h Lagerdauer bei 80 °C noch die Anforderungen der DIN V 51605 hinsichtlich der Oxidationsstabilität erfüllen.

Bei einer Lagerung von Hanföl bei 40 °C kommt es erwartungsgemäß zu einem schnelleren Abfall der Oxidationsstabilität als bei 20 °C. Nach einer Woche Lagerdauer weist Hanföl bei 40 °C eine ähnliche Oxidationsstabilität auf wie Hanföl, welches für 24 h bei 80 °C und Rapsöl, welches für 72 h bei 80 °C gelagert wird.

Alle Hanfölproben erfüllen jedoch bereits im Ausgangszustand nicht die Mindestanforderung an Rapsölkraftstoff nach DIN V 51605 (vgl. Kap. 4.3.11).

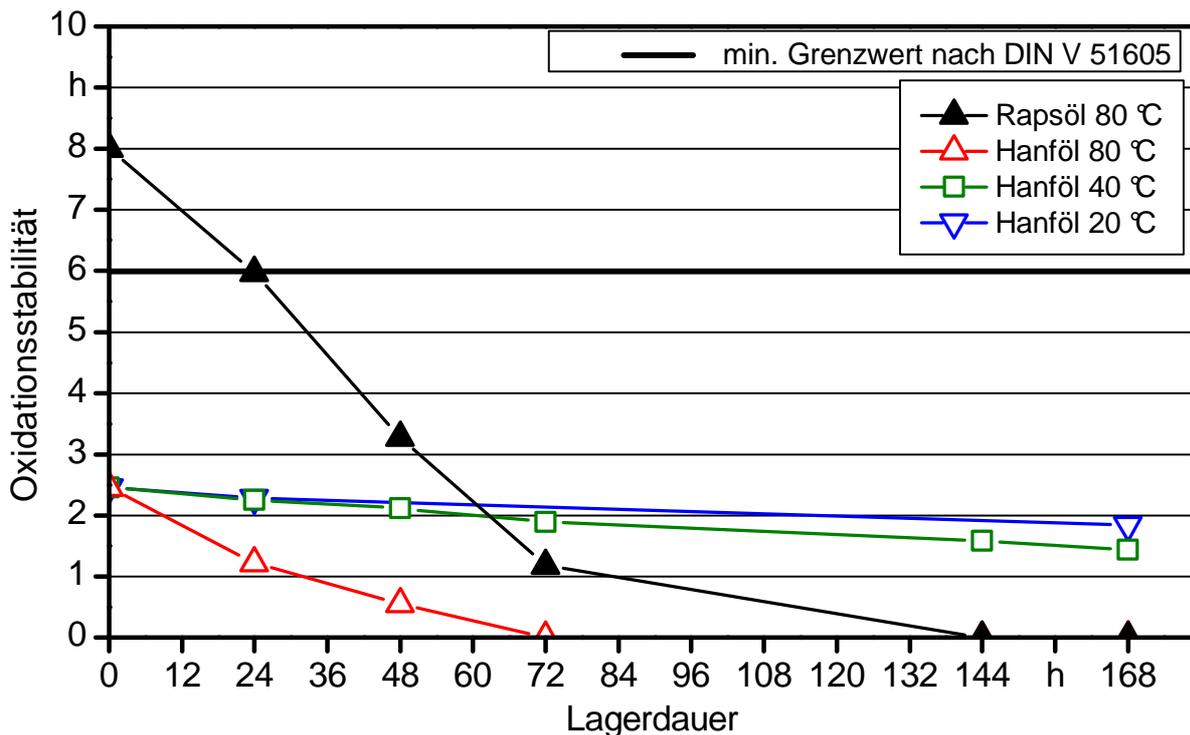


Abbildung 20: Verlauf der Oxidationsstabilität (EN 14112) von Hanföl und Rapsöl bei verschiedenen Lagertemperaturen

Auch bei der kinematischen Viskosität sind Veränderungen über den Lagerzeitraum ersichtlich (Abbildung 21). Am deutlichsten zeigt sich eine Viskositätszunahme um ca. 90 % bei Hanföl welches bei 80 °C eine Woche lang gelagert wurde. Der Viskositätsanstieg deutet auf ein beginnendes Vernetzen der Moleküle hin, was in Folge zur Polymerisierung führen kann. Auch Rapsöl, welches eine höhere Ausgangsviskosität aufweist, zeigt einen, wenn auch geringen, Anstieg der Viskosität um ca. 25 % innerhalb einer Woche.

Die Lagerung von Hanföl bei 40 °C zeigt einen geringfügigen Anstieg bei der kinematischen Viskosität, während bei der Lagervariante bei 20 °C im beobachteten Zeitraum keine Veränderung ersichtlich ist.

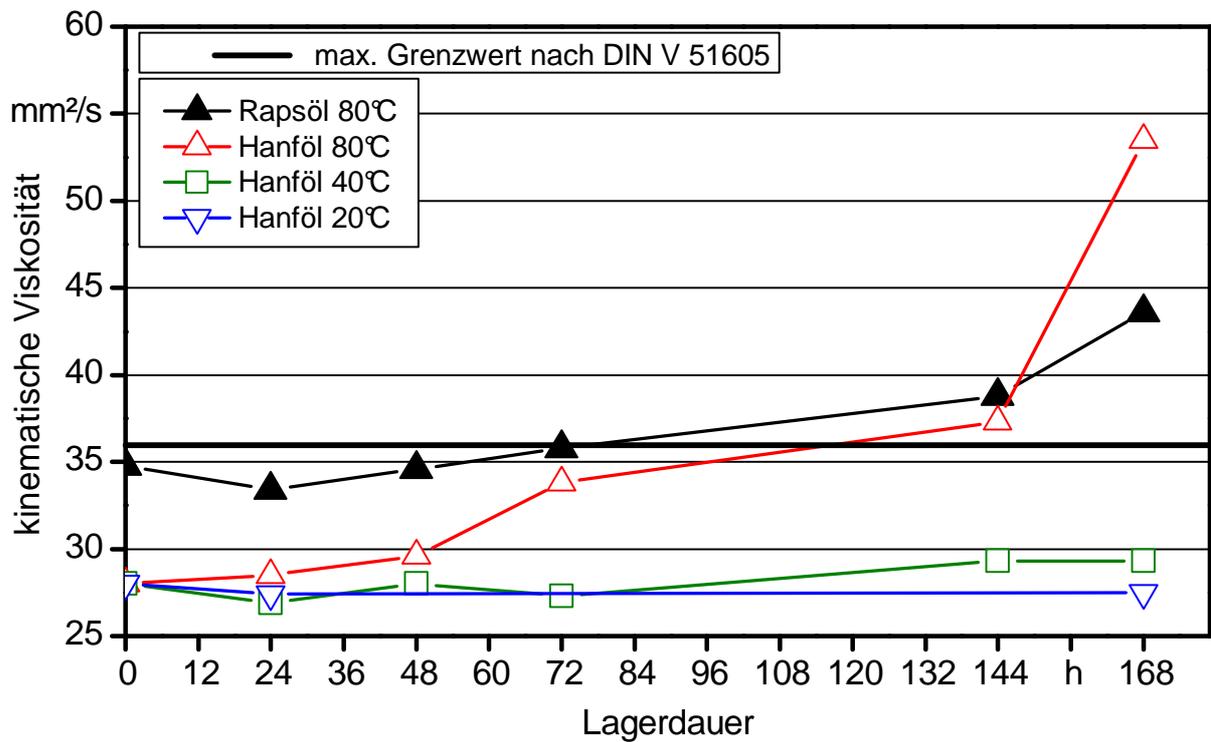


Abbildung 21: Veränderung der kinematischen Viskosität (40°C) (ISO 3104) von Hanföl und Rapsöl bei verschiedenen Lagertemperaturen

## 4.5 Eigenschaften von Hanföl-Rapsöl-Gemischen

### 4.5.1 Dynamische und kinematische Viskosität

Abbildung 22 zeigt den Verlauf der kinematischen Viskosität bei unterschiedlichen Temperaturen. Es ist zu erkennen, dass Hanföl-Rapsöl-Gemische mit einem steigenden Anteil an Hanföl vor allem bei niedrigen Temperaturen geringere kinematische Viskositäten aufweisen als reines Rapsöl bzw. Gemische mit einem geringen Anteil an Hanföl. Abbildung 23 zeigt für zwei ausgewählte Temperaturen, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen dem Hanfölananteil und der kinematischen Viskosität besteht.

In Abbildung 24 ist die Veränderung der dynamischen Viskosität bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min dargestellt. Auch hier kommt es mit steigendem Anteil an Hanföl im Gemisch zu einer Absenkung der dynamischen Viskosität, insbesondere bei niedrigen Temperaturen.

Abbildung 25 zeigt den Einfluss des Hanfölananteils auf den Pourpoint. Der Pourpoint wird gemäß DIN ISO 3016 in Schritten von 3 K ermittelt und beschreibt die Temperatur, bei der eine unter definierten Bedingungen abgekühlte Probe gerade noch fließfähig ist [21]. Mit einem steigenden Anteil an Hanföl kommt es zu einer Absenkung des Pourpoints.

Durch eine Beimischung von Hanföl zu Rapsölkraftstoff kann das Viskositäts- und damit auch das Kälteverhalten positiv beeinflusst werden.

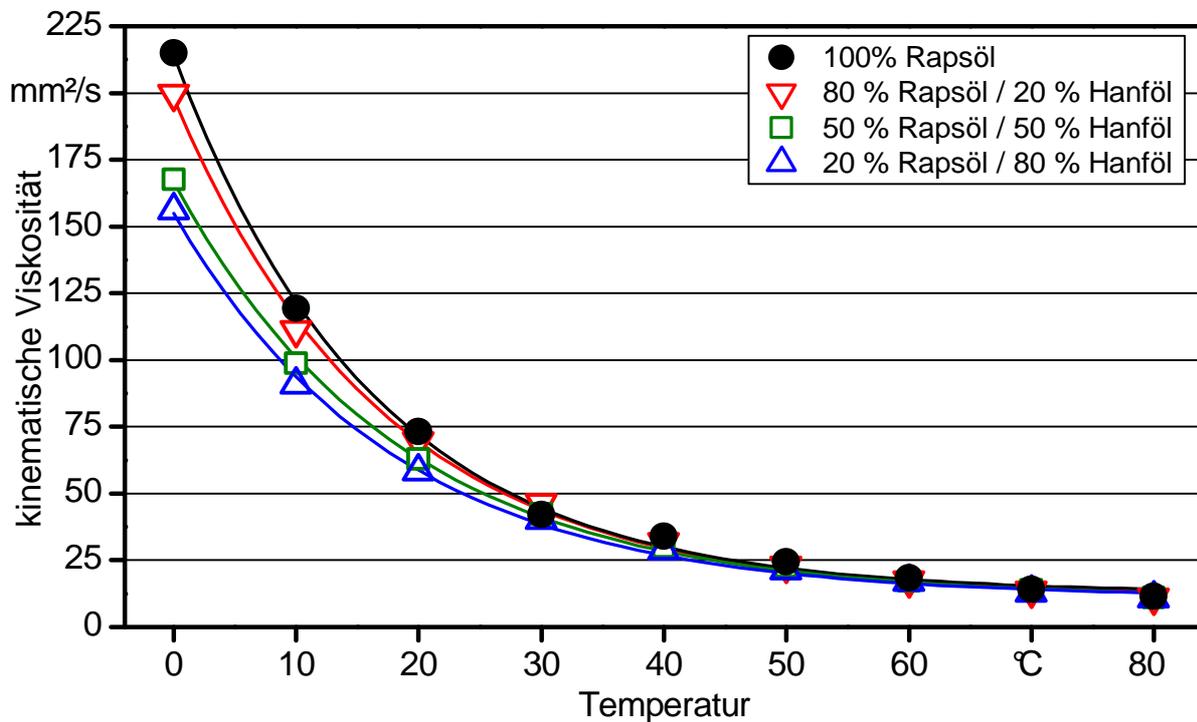


Abbildung 22: Verlauf der kinematischen Viskosität von Hanföl-Rapsöl-Gemischen in Abhängigkeit von der Temperatur

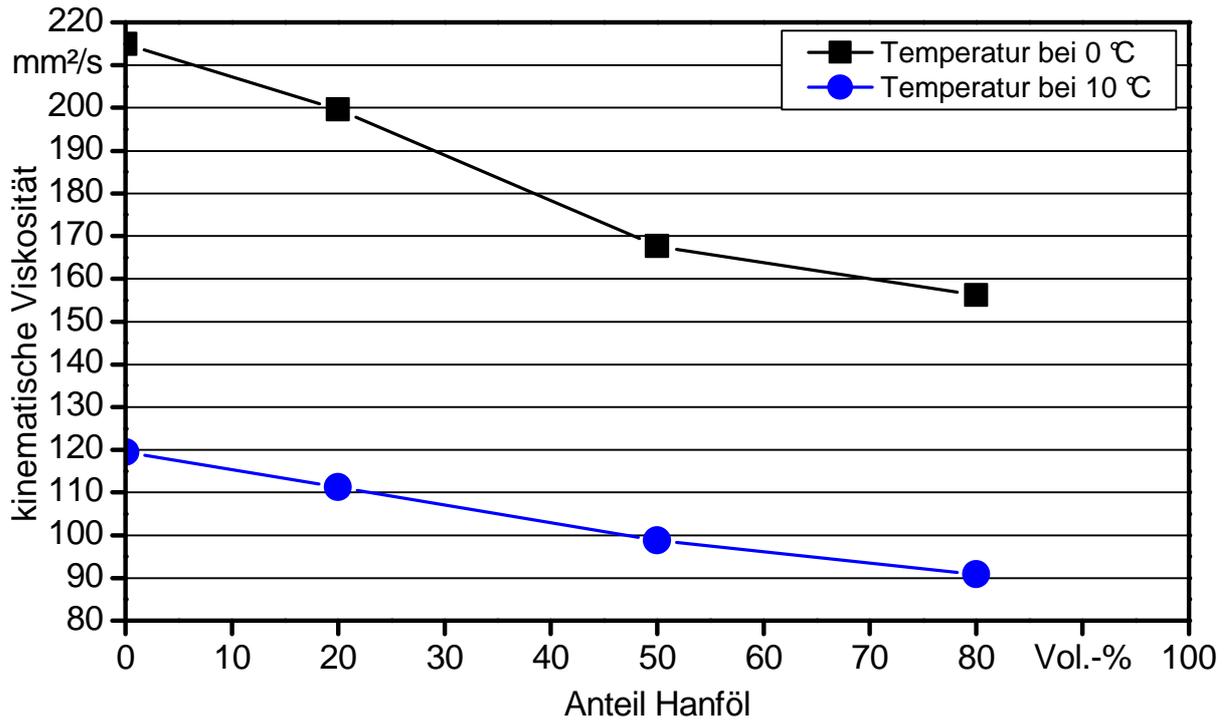


Abbildung 23: Einfluss des Hanfölteils auf die kinematische Viskosität bei 0 °C und 10 °C eines Hanföl-Rapsöl-Gemisches

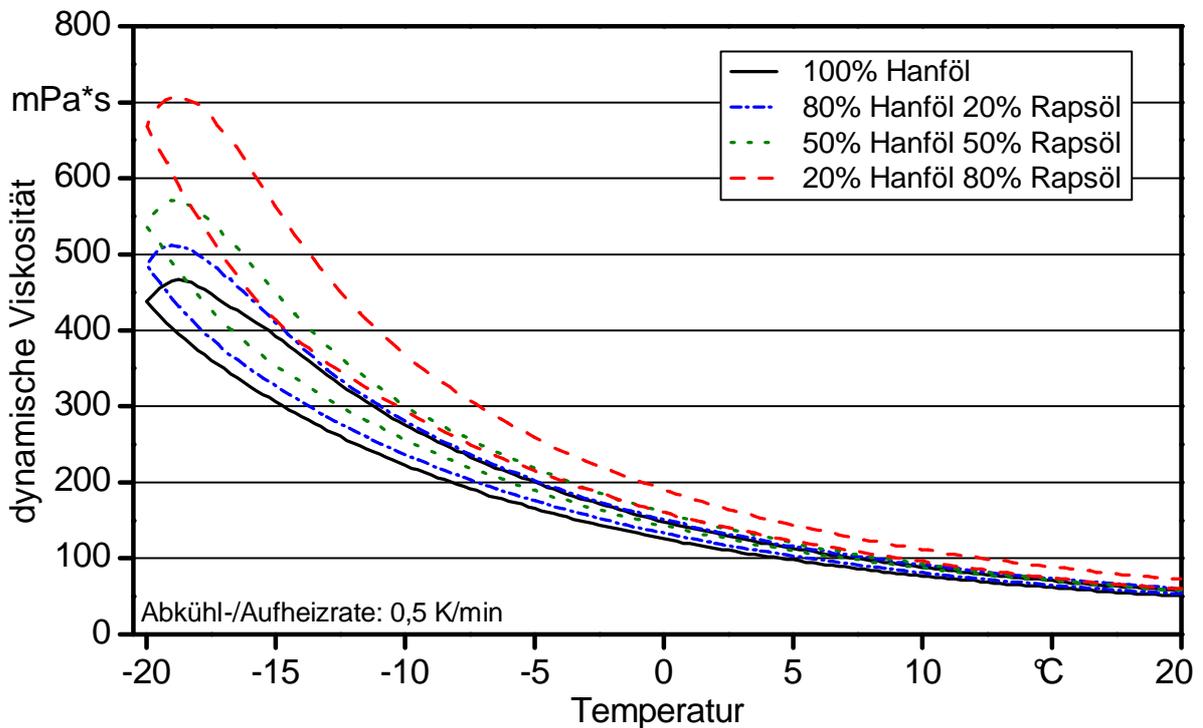


Abbildung 24: Dynamische Viskosität von Hanföl-Rapsöl-Gemischen, gemessen mit einem Rotationsviskosimeter, bei einer Abkühl-/Aufheizrate von 0,5 K/min

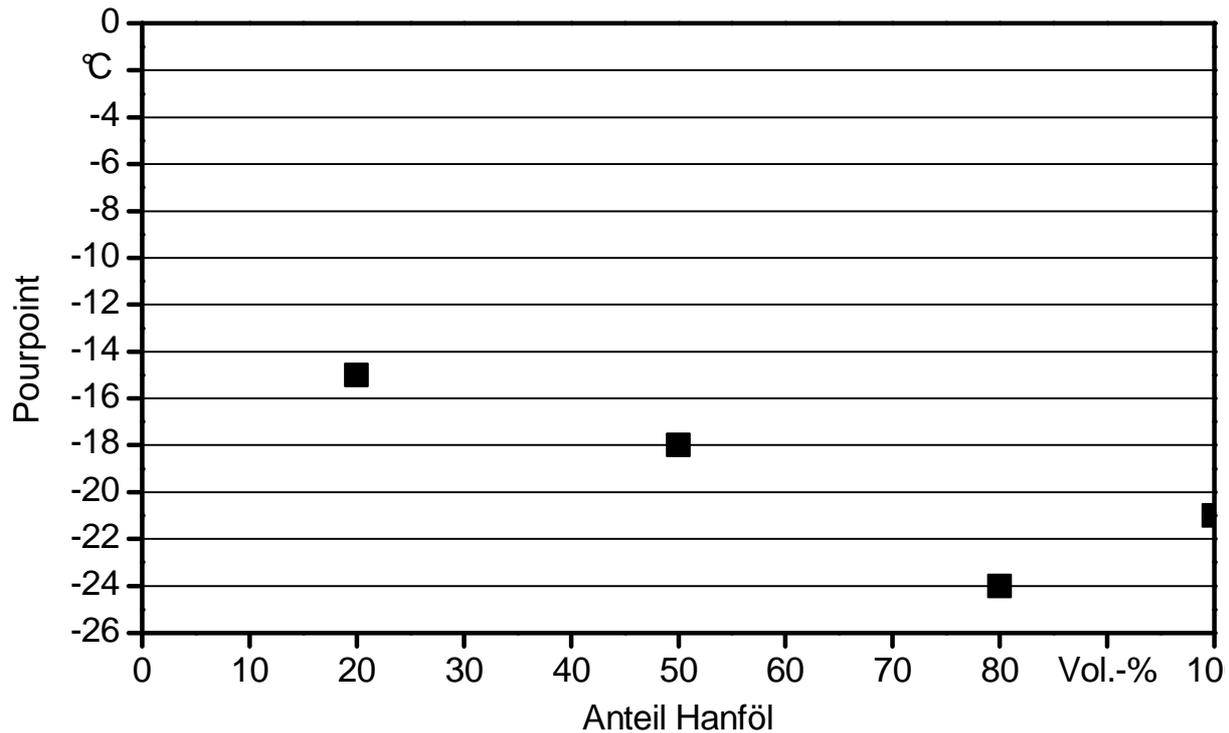


Abbildung 25: Einfluss des Hanfölteils auf den Pourpoint (ISO 3016)

#### 4.5.2 Oxidationsstabilität

Abbildung 26 zeigt den Einfluss des Hanfölteils auf die Oxidationsstabilität bei 110 °C von Hanföl-Rapsöl-Gemischen. Bei den Versuchen wurde Rapsöl verwendet, welches eine hohe und damit sehr gute Oxidationsstabilität von 9,4 h aufweist. Erwartungsgemäß fällt die Oxidationsstabilität mit einem steigenden Anteil von Hanföl ab. Bei einem Hanfölteil von 20 Vol.-% wurde eine Oxidationsstabilität von 6,3 h ermittelt, welche noch innerhalb der Anforderungen der DIN V 51605 liegt. Bei höheren Anteilen beigemischem Hanföls können die Anforderungen der DIN V 51605 nicht eingehalten werden.

Zur detaillierten Beurteilung der Lagereigenschaften einer Hanföl-Rapsöl-Mischung mit Hanfölteilen kleiner 20 Vol.-% sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. Dabei sollte auch die Veränderung der Gemischeigenschaften über einen längeren Lagerzeitraum hinweg beobachtet werden.

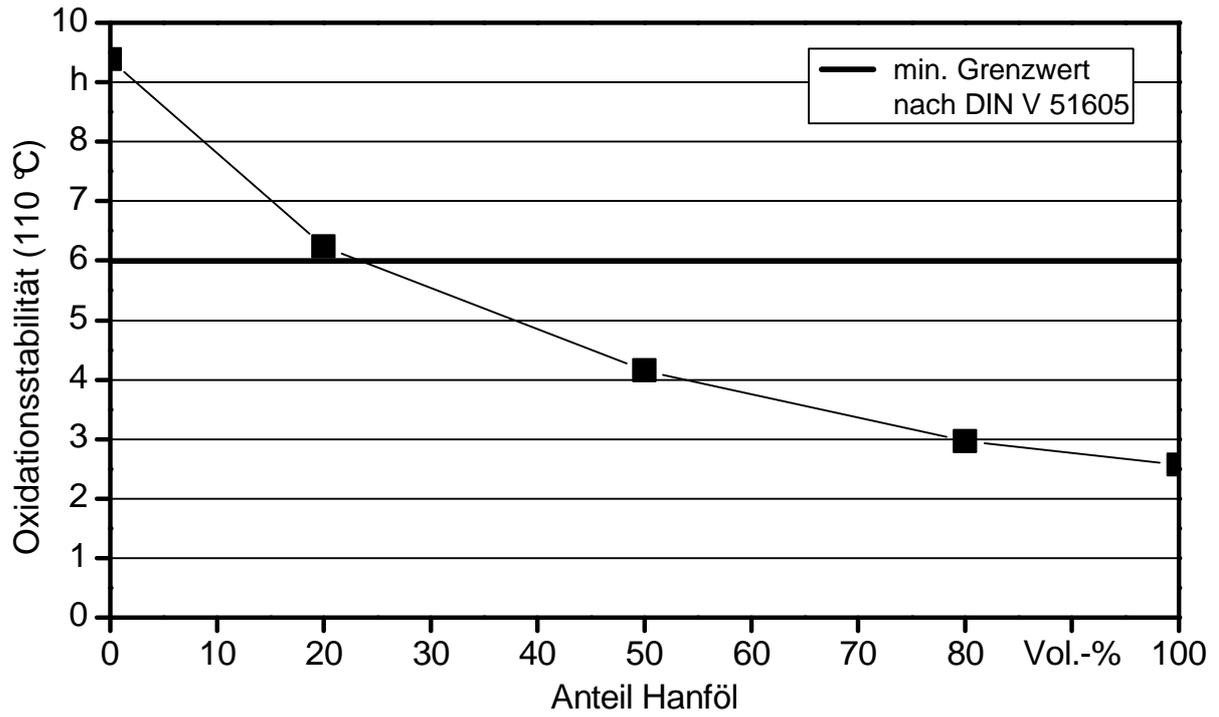


Abbildung 26: Einfluss des Hanfölanteils auf die Oxidationsstabilität (110 °C) eines Hanföl-Rapsöl-Gemisches



## Schlussfolgerungen

Zur Beurteilung der Eignung von Hanföl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Dieselmotoren wurden drei verschiedene Hanfölproben unterschiedlicher Herstellungsweisen und Aufbereitungsformen hinsichtlich kraftstoffrelevanter Eigenschaften eingehend untersucht und auf die Einhaltung der Anforderungen gemäß DIN V 51605 für Rapsölkraftstoff überprüft. Als Proben wurden eingesetzt, ein kaltgepresstes Hanföl gefiltert, ein heißgepresstes Hanföl gefiltert und ein kaltgepresstes Hanföl raffiniert.

Alle untersuchten Hanfölproben konnten die Grenzwerte für Rapsölkraftstoff der Kenngrößen Dichte, kinematische Viskosität, Cetanzahl, Heizwert, Schwefelgehalt und Wassergehalt einhalten. Die bei diesen Parametern beobachteten Abweichungen von den für Rapsölkraftstoff typischen Werten sind eher gering und sind für den Einsatz als Kraftstoff nicht hinderlich. Allerdings sind die etwas höhere Dichte, geringere Viskosität und der geringfügig niedrigere Heizwert im Vergleich zu Rapsölkraftstoff bei einer Motoranpassung mit zu berücksichtigen.

Die Anforderungen bezüglich Koksrückstand, Jodzahl und Oxidationsstabilität konnten dagegen von keiner der untersuchten Proben erfüllt werden. Der Koksrückstand der drei Hanföle beträgt mit durchschnittlich 0,7 Gew.-% etwa doppelt so viel, wie bei Rapsölkraftstoff, was auf eine starke Verkokungsneigung hindeutet. Ablagerungen an Einspritzdüsen, im Brennraum und an den Ventilen sind die Folge, die einen erhöhten Wartungsaufwand nach sich ziehen, zur Verschlechterung des Emissionsbildes beitragen und den Motorbetrieb beeinträchtigen. Die geringe Oxidationsstabilität von nur etwa 3 h der Hanfölproben lässt sich anhand der hanfölspezifischen hohen Jodzahl von 163 g Iod/100g und des genetisch festgelegten Fettsäuremusters mit einem großen Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren erklären. Eine geringe Oxidationsstabilität bedingt eine schlechte Lagerstabilität und führt zur schnellen Alterung des Pflanzenöls, die in der Folge Verharzungen im Kraftstoff- und Einspritzsystem, Ablagerungen im Bereich des Brennraumes und eine schnellere Erschöpfung des Motoröls mit der Gefahr der Öleindickung verursachen kann. Auch ist mit einer Verschlechterung des Emissionsverhaltens von pflanzenöлтаuglichen Motoren zu rechnen (vgl. Kapitel 2).

Zur Überprüfung der Alterungsstabilität von Hanföl, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Alterungsverhalten bei verschiedenen Temperaturstufen bestimmt. Dabei wurde „Hanföl raffiniert“ bei 80 °C, 40 °C und 20 °C über einen Zeitraum von 168 h im Wärmeschrank gelagert und die Veränderungen bei den Parametern Oxidationsstabilität und kinematische Viskosität in definierten Zeitabständen erfasst. Hierbei bestätigte sich, dass Hanföl einem schnellen Alterungsprozess unterliegt. Bereits bei einer Lagerdauer von 72 h bei 80 °C sinkt die Oxidationsstabilität auf null Stunden ab. Nach weiteren 72 Stunden steigt die kinematische Viskosität auf das doppelte des Ausgangswertes sprunghaft an. Auch bei der Lagerung bei 40 °C zeigt sich nach einer Woche Lagerung ein signifikanter Abfall der Oxidationsstabilität sowie ein leichter Anstieg der kinematischen Viskosität. Hanföl ist also wenig thermisch stabil und sehr anfällig gegenüber Oxidationsprozesse. Insbesondere bei der Erwärmung von Hanföl in Lagertanks oder im Kraftstoffsystem von Motoren kann es bereits nach kurzer Zeit zu den oben beschriebenen technischen Problemen kommen. Somit sind kühle und dunkle Lagerungsbedingungen generell für Pflanzenöle, aber insbesondere für Hanföl in jedem Fall erforderlich.

Diese nachteiligen Eigenschaften in Bezug auf den Koksrückstand und der Oxidationsstabilität könnten möglicherweise durch die Verwendung von Kraftstoffadditiven verbessert werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es derzeit für Pflanzenölkraftstoff noch kaum Erfahrungen dazu gibt. Die Verwendung auf dem Markt erhältlicher Additivprodukte ist, ohne dem vorher durch systematische Labor- und Prüfstandsuntersuchungen erbrachten Nachweis der Wirksamkeit sowie der technischen und umweltrelevanten Unbedenklichkeit bei Pflanzenölkraftstoff, mit einem großen Risiko behaftet.

Günstiger als bei Rapsölkraftstoff erweist sich das bessere Kälteverhalten und die damit verbundene bessere Fließfähigkeit von Hanföl, was anhand der um ca. 20 % geringeren kinematischen Viskosität (bei 40 °C) deutlich wird und aus der unterschiedlichen Fettsäurezusammensetzung resultiert.

Ein Vergleich der untersuchten Hanfölproben untereinander zeigt zum Teil deutliche Unterschiede bei den einzelnen Kraftstoffeigenschaften. Die Probe „Hanföl raffiniert“ konnte 12, die Probe „Hanföl kaltgepresst“ 8 und die Probe „Hanföl heißgepresst“ nur 6 von 15 Kennwerten gemäß DIN V 51605 einhalten. Die Probe „Hanföl raffiniert“ weist also vergleichsweise die besten Eigenschaften auf. „Hanföl heißgepresst“ ist offensichtlich am wenigsten als Kraftstoff geeignet und ohne weitere Nachbehandlung (wie z.B. Raffination) wenn überhaupt, dann nur nach umfangreichen Optimierungsmaßnahmen am Motor oder in Spezialmotoren (z.B. Altfettmotoren) mit hohen Anforderungen an die verwendeten Motorbauteile und unter Einbeziehung einer effektiven Abgasreinigung verwendbar. Von „Hanföl kaltgepresst“ liegen keine genaueren Daten zu den Bedingungen während des Herstellungsprozesses vor. Durch qualitätsverbessernde Maßnahmen bei der Hanfsaatverarbeitung, die den gesamten Prozess von der Ernte und Lagerung der Saat über das Abpressen bis hin zur Reinigung und Lagerung des Öls umfassen müssen, ist eine Verbesserung der Kraftstoffqualitätseigenschaften in bestimmtem Umfang zu erwarten. Hierbei könnten auf die tiefgreifenden Erfahrungen bei der Qualitätssicherung von Rapsölkraftstoff zurückgegriffen werden vgl. [4][10][22][23][24][25][26][27][28]. Allerdings werden dadurch lediglich die variablen Eigenschaften, insbesondere Säurezahl, Phosphor-, Calcium- und Magnesiumgehalt positiv beeinflusst. Charakteristische Eigenschaften von Hanföl, wie beispielsweise die hohe Jodzahl bleiben davon unberührt, weshalb auch nach Optimierung des Produktionsprozesses die Tauglichkeit von Hanföl für die Verwendung als Kraftstoff eingeschränkt sein wird.

Um die Möglichkeiten einer Verbesserung der Alterungsstabilität von Hanföl durch die Beimischung von Rapsölkraftstoff zu prüfen, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit definierte Anteile an Rapsölkraftstoff der Probe „Hanföl raffiniert“ beigemischt. Dabei zeigte sich, dass ab einer Beimischrate von 80 Vol.-% Rapsölkraftstoff zu Hanföl der Grenzwert der Oxidationsstabilität gemäß DIN V 51605 eingehalten werden kann, mit abnehmenden Rapsölanteilen liegt die Oxidationsstabilität entsprechend niedriger. Somit könnte Hanföl in geringen Anteilen als Beimischung zu Rapsölkraftstoff verwendet werden, so dass die Anforderungen an die Oxidationsstabilität noch erfüllt sind. Allerdings sind hierzu qualitativ hochwertige Hanf- und Rapsöle erforderlich. Weitergehende Untersuchungen bezüglich der Eigenschaften solcher Gemische und Untersuchungen am Motorprüfstand sind jedoch unerlässlich, bevor gegebenenfalls die technische Eignung derartiger Mischungen als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren gesichert festgestellt werden kann.

---

Genau entgegengesetzt zur Oxidationsstabilität verhält sich das Kälteverhalten. So geht mit zunehmendem Rapsölkraftstoffanteil im Hanföl ein Anstieg der Viskosität vor allem im Temperaturbereich unter 0 °C und damit eine Verschlechterung des Kälteverhaltens einher.

## **Fazit**

Abschließend kann anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung festgestellt werden, dass Hanföl nachteilige Eigenschaften hinsichtlich seiner Eignung als Kraftstoff, nämlich eine geringe Oxidationsstabilität und einen hohen Koksrückstand aufweist. Somit kann Hanföl nicht in den derzeitig verfügbaren pflanzenöлтаuglichen Motoren eingesetzt werden, ohne dass die Gefahr technischer Probleme während des Betriebs oder eine Verschlechterung des Abgasemissionsverhaltens in Kauf genommen werden müssten. Allerdings besteht die Möglichkeit, durch bestimmte Maßnahmen, wie die Optimierung des Herstellungsverfahrens oder eine nachträgliche Additivierung, kraftstoffrelevante Eigenschaften zu verbessern. Auch könnte Hanföl als Blendkomponente zu Rapsölkraftstoff eingesetzt werden, sofern die Eignung von solchen Gemischen in weiteren Untersuchungen nachgewiesen wird. Darüber hinaus kann möglicherweise durch die Verwendung von Spezialmotoren, bzw. durch die Anpassung von Dieselmotoren an die spezifischen Anforderungen des Hanföls zukünftig auch der Einsatz von reinem Hanföl als Kraftstoff eine Alternative zu Dieselkraftstoff darstellen. Hierzu sind jedoch erst noch weitergehende umfangreiche Untersuchungen zum Betriebs- und Emissionsverhalten von Hanföl in pflanzenöлтаuglichen Dieselmotoren erforderlich.



## Quellenverzeichnis

- [1] THUNEKE K., KERN C. (2002): Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Teil 1: Emissionsverhalten von pflanzenölbetriebenen BHKW-Motoren in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen und Eigenschaften der Pflanzenölkraftstoffe sowie Abgasreinigungssysteme. München: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)
- [2] CERBE, G.; HOFFMANN, H.-J. (2002): Einführung in die Thermodynamik: Von den Grundlagen zur technischen Anwendung. 13. Aufl. München: Hanser
- [3] WIDMANN, B.A. (1998): Pflanzenöl als Energieträger - Markt, Eigenschaften und Standardisierung. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): Energetische Nutzung von Pflanzenölen, Tagungsband zur Fachtagung am 20.10.1998 in Wackersdorf
- [4] 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 (194 Seiten)
- [5] ROTH, L., KORMANN, K. (2000): Ölpflanzen – Pflanzenöle. Landsberg/Lech: ecomed Verlagsgesellschaft AG & Co. KG (226 Seiten)
- [6] DOBIASCH, A. (2000): Einfluß der chemischen und physikalischen Eigenschaften von regenerativen Kraftstoffen auf das Emissionsverhalten von Verbrennungsmotoren. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH (173 Seiten)
- [7] MEIER, M.; CONTESSE, M. (2004): Gewinnung, Aufbereitung und Analyse verschiedener Pflanzenöle auf ihre Eignung als Alternativkraftstoffe. Semesterarbeit: Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft Zollikofen
- [8] GUNSTONE, F.D.; HARWOOD J.L.; PADLEY, F.B. (1986): The Lipid Handbook. London: Chapman and Hall
- [9] BOCKISCH, M. (1993): Nahrungsfette und -öle. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co (Handbuch der Lebensmitteltechnologie) (694 Seiten)
- [10] REMMELE, E.; THUNEKE, K.; WIDMANN, B. A.; WILHARM, T.; SCHÖN, H. (2000): Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW. "Gelbes Heft 69". Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München (217 Seiten)
- [11] THUNEKE, K.; KERN, C.; WIDMANN, B.A. (2002): Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Teil 1. Bd. Materialien 171, Umwelt & Entwicklung Bayern, Hrsg. und Druck: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München (110 Seiten)
- [12] GROSSFELD, J.; SPLITTGERBER, A. (1923): J. Königs Chemie der menschlichen Nahrungs- und Genussmittel – Nachtrag zu Band I – B. Zusammensetzung der pflanzlichen Nahrungs- und Genussmittel. Berlin: Springer-Verlag (1216 Seiten)
- [13] MATTHÄUS, B.; BRÜHL, L.; KRIESE, U.; SCHUMANN, E.; PEIL, A. (2001): Hanföl: Ein „Highlight“ für die Küche? – Untersuchungen zur Variabilität von Hanföl verschiedener Genotypen. In SENAT DER BUNDESFORSCHUNGSANSTALTEN IM GESCHÄFTSBEREICH DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg): Forschungsreport 2/2001. Bonn: Agroconcept GmbH

- [14] SCHWEIGER, P.; SEITH, B.; RASIG, M. (1998): Fettsäuregehalt von kaltgepresstem Hanföl. <http://www.landwirtschaft-bw.info> vom 12.04.2007
- [15] KERSCHBAUM, S.; SCHWEIGER, P. (2001): Untersuchungen über die Fettsäure- und Tocopherolgehalte von Pflanzenölen. Forchheim: Landesanstalt für Pflanzenbau (51 Seiten)
- [16] SCHÜMANN, U (2006): Auswirkungen verschiedener Kennwerte von Rapsölkraftstoff auf den Betrieb pflanzenöltauglicher Motoren. Vortrag am 23.03.2006 im Rahmen des Workshops zur dezentalen Ölgewinnung
- [17] EL-GHANY, E.A. (2002): Molekulargenetische Diversität einer monözischen und einer diözischen Hanfsorte und Analyse des Fasergehaltes von verschiedenen Hanfformen. Dissertation an der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg (119 Seiten)
- [18] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg) (2005): Pflanzen für die Industrie. 4. überarbeitete Ausgabe. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (49 Seiten)
- [19] HÖPPNER, F.; MENGE-HARTMAN, U. (2000): Einfluss der Hanfsorte auf Erntereife und Ertragsleistungen. In: UNION ZUR FÖRDERUNG VON ÖL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (Hrsg.): UFOP-Schriften Heft 14 – Öl- und Faserpflanzen. Bonn: Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen
- [20] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (2006): DIN V 51605 – Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren
- [21] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1982): Mineralölerzeugnisse – Bestimmung des Pourpoints
- [22] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUSWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (2005): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – KTBL Schrift 427. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH (164 Seiten)
- [23] 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)
- [24] 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 Nachwachsender Rohstoffe e.V., FKZ 22004900, Straubing: Technologie- und Förderzentrum (115 Seiten)
- [25] REMMELE, E. und K. STOTZ (2005): Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen (08/2005), Straubing: Technologie- und Förderzentrum, (15 Seiten)
- [26] SCHÜMANN, U. (2003): Rapsöl als Kraftstoff für Dieselmotoren: Rapsölqualität, -lagerung und -versorgung. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDER ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.) Das „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ des BMVEL. Vortragsskript zum Statusseminar am 31.03.2003 in Berlin. Gülzow: Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. Eigenverlag
- [27] 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)

- [28] 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, Weihenstephan (157 Seiten)
- [29] Sell, J.; Thalmann, P. (1998): Anbau und Verarbeitung von Hanf als nachwachsendem Rohstoff – sein Potential für die Schweizer Industrie. Forschungs- und Arbeitsbericht 115/37 EMPA Abteilung, Gruppe Ökologie Abt. Umweltwissenschaften der ETH Zürich



# Anhang

Anhang 1: Analysezertifikat Probe „Hanföl kaltgepresst“:



**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

TFZ  
Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für  
Nachwachsende Rohstoffe  
Frau Anja Rocktäschel  
Schulgasse 18  
94315 Straubing

Speyer, 14. Februar 2007/Be  
Seite 1 von 2

## Analysezertifikat

Auftraggeber : Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum  
für Nachwachsende Rohstoffe, Frau Anja Rocktäschel,  
Schulgasse 18, 94315 Straubing  
Ihr Auftrag : mit Schreiben vom 06.02.2007  
Produkt : Hanfölprobe  
Probenbezeichnung : Hanföl kaltgepresst 2078  
Probenmenge : 2 x ca. 1 Liter in Kunststoffbehälter  
Auftragsgrund : Qualitätsüberprüfung  
Probeneingang : 09.02.2007  
PL-Nr. : 73.925,1

Das uns durch TNT Express zur Analyse übergebene Muster wurde zwischen Probeneingang und Zertifikatserstellung untersucht und folgende Analysenergebnisse erhalten:

Aussehen/Geruch	braun, mittelviskos, blumiger Geruch			
<u>Analysenkriterium</u>	<u>Methode</u>	<u>Dimension</u>	<u>Ergebnis</u>	<u>Grenzwerte</u>
Dichte bei 15 °C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	927,8	min. 900,0/max. 930,0
Flammpunkt (P.M.)	EN ISO 2719	°C	225,0	min. 220
Kinematische Viskosität bei 40 °C	EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	27,7	max. 36,0
Heizwert, unterer	DIN 51900-1, -3	kJ/kg entsprechend MJ/kg entsprechend kcal/kg	36.540 36,54 8.725	min. 36.000
Koksrückstand nach Conradson bestimmt im Original	EN ISO 10370	Gew.-%	0,55	max. 0,40
Jodzahl	EN 14111	gJ/100g berechnet aus Fettsäureverteilung	163 161	min. 95 / max. 125
Schwefelgehalt, ausgedrückt als S	EN ISO 20884	mg/kg	unter 5 (MW unter 2)	max. 10
Gesamtverschmutzung (Membranfilterverfahren)	EN 12662	mg/kg	18	max. 24
Säurezahl	EN 14104	mgKOH/g	3,92	max. 2,0
Oxidationsstabilität bei 110 °C (Rancimat-Methode)	EN 14112	Stunden	2,4/2,8	min. 6,0
Phosphorgehalt, ausgedrückt als P	EN 14107	mg/kg	24*	max. 12

\* Wertangabe mit Veraschung/Photometrisch ASTM D 3231 überprüft

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Seite 2 von 2 zu Analysezertifikat  
TFZ, Straubing, PL-Nr. 73.925.1 vom 14.02.2007

**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

Analysekriterium	Methode	Dimension	Ergebnis	Grenzwerte
Magnesiumgehalt, ausgedrückt als Mg	prEN 14538	mg/kg	unter 10 (MW 6)**	
Calciumgehalt, ausgedrückt als Ca	prEN 14538	mg/kg	16**	
<b>Summengehalt an Magnesium und Calcium</b>		mg/kg	16 (MW 21)**	max. 20
** Untere Nachweisgrenze der Methode (ICP) 10 mg/kg. Werteangabe mit Veraschung / ICP analog DIN EN 241 überprüft				
Oxidasche	EN ISO 6245	Gew.-%	0,016	max. 0,01
Wassergehalt (K.F.)	EN ISO 12937	mg/kg	150	max. 750
<b>Dynamischer Viskositätsverlauf</b>			- siehe Anlage -	
Pourpoint	ISO 3016	°C	-27	

#### Elementscreening mittels ICP-OES

Es wurde ein Wellenlängenbereich von 180 bis 760 nm abgescannt:

Hauptbestandteile	Calcium, Magnesium, Phosphor
Spuren	Kalium, Eisen, Mangan
nicht nachgewiesen wurde	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Lithium, Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Titan, Wismut, Zinn, Zink

#### Fettsäureverteilung

bestimmt mit GC-FID, bezogen auf den mit TMSH umesterbaren Anteil der Probe

<b>niedere Fettsäuren</b>	< C12	Gew. %	unter 0,5
Laurinsäure	C12/0	Gew. %	unter 0,1
Myristinsäure	C14/0	Gew. %	unter 0,1
Palmitinsäure	C16/0	Gew. %	6,4
Palmitoleinsäure	C16/1	Gew. %	0,1
Stearinsäure	C18/0	Gew. %	2,7
Ölsäure	C18/1	Gew. %	11,4
Linolsäure	C18/2	Gew. %	55,2
Linolensäure	C18/3	Gew. %	20,2
Arachinsäure	C20/0	Gew. %	0,7
Gadoleinsäure	C20/1	Gew. %	0,4
<b>höhere Fettsäuren</b>	> C20	Gew. %	1,1
<b>sonstige Fettsäuren</b>		Gew. %	1,8

#### Cetanzahl *DIN 51773, modifiziert*

bestimmt mit BASF-MWM-Motor  
siehe hierzu Hinweise in V DIN 51605,  
Absatz 5.5 „Besonderheiten der Anforderung an die Zündwilligkeit“

48,7 min. 39

#### Bemerkungen Cetanzahl (Auszug aus der Anforderungsnorm V DIN 51605)

Während einerseits die Relevanz dieser Anforderung anerkannt ist, sind andererseits die derzeit als Norm vorliegenden Prüfverfahren zur Bestimmung der Cetanzahl im Prüfmotor nur sehr bedingt für die Messung der Zündwilligkeit vom Rapsölkraftstoff geeignet.

Während also einerseits die Anforderung an die Zündwilligkeit bestehen bleibt ist die zwingende Prüfung dieser Eigenschaft auszusetzen, bis eine entsprechende Prüfnorm vorliegt.

Der in Tabelle 1 genannte Grenzwert von 39 beruht auf Erfahrungswerten und ist aus den oben genannten Gründen noch nicht als abgesichert zu betrachten.

Wir danken für Ihren Auftrag und stehen für weitere Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

PETROLAB GmbH, Laboratorium für Mineral- und Umweltanalytik

D. Mehl

i. A. D. Zahn

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

## Anhang 2: Analysezertifikat der Probe „Hanföl heißgepresst“


**PETRO LAB**  
 GMBH

 Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
 Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
 E-Mail: info@petrolab.de

 TFZ  
 Technologie- und Förderzentrum  
 im Kompetenzzentrum für  
 Nachwachsende Rohstoffe  
 Frau Anja Rocktäschel  
 Schulgasse 18

 Speyer, 14. Februar 2007/Be  
 Seite 1 von 2

94315 Straubing

**Analysezertifikat**

Auftraggeber : Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Frau Anja Rocktäschel, Schulgasse 18, 94315 Straubing

Ihr Auftrag : mit Schreiben vom 06.02.2007

Produkt : Hanfölprobe

Probenbezeichnung : Hanföl roh 1558

Probenmenge : 2 x ca. 1 Liter in Kunststoffbehälter

Auftragsgrund : Qualitätüberprüfung

Probeneingang : 09.02.2007

PL-Nr. : 73.925,2

Das uns durch TNT Express zur Analyse übergebene Muster wurde zwischen Probeneingang und Zertifikatserstellung untersucht und folgende Analysenergebnisse erhalten:

<u>Aussehen/Geruch</u>	braun, mittelviskos, nussiger Geruch			
<u>Analysenkriterium</u>	<u>Methode</u>	<u>Dimension</u>	<u>Ergebnis</u>	<u>Grenzwerte</u>
Dichte bei 15 °C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	926,2	min. 900,0/max. 930,0
Flammpunkt (P.M.)	EN ISO 2719	°C	215,0	min. 220
Kinematische Viskosität bei 40 °C	EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	26,4	max. 36,0
Heizwert, unterer	DIN 51900-1, -3	kJ/kg entsprechend MJ/kg entsprechend kcal/kg	36.510 36,51 8.720	min. 36.000
Koksrückstand nach Conradson bestimmt im Original	EN ISO 10370	Gew.-%	0,82	max. 0,40
Jodzahl	EN 14111	gJ/100g berechnet aus Fettsäureverteilung	163 159	min. 95 / max. 125
Schwefelgehalt, ausgedrückt als S	EN ISO 20884	mg/kg	5	max. 10
Gesamtverschmutzung (Membranfilterverfahren)	EN 12662	mg/kg	17	max. 24
Säurezahl	EN 14104	mgKOH/g	34,1	max. 2,0
Oxidationsstabilität bei 110 °C (Rancimat-Methode)	EN 14112	Stunden	3,1/3,0	min. 6,0
Phosphorgehalt, ausgedrückt als P	EN 14107	mg/kg	93*	max. 12

\* Wertangabe mit Veraschung/Photometrisch ASTM D 3231 überprüft

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Seite 2 von 2 zu Analysezertifikat  
TFZ, Straubing, PL-Nr. 73.925.2 vom 14.02.2007

**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

Analysekriterium	Methode	Dimension	Ergebnis	Grenzwerte
Magnesiumgehalt, ausgedrückt als Mg	prEN 14538	mg/kg	16**	
Calciumgehalt, ausgedrückt als Ca	prEN 14538	mg/kg	52**	
Summengehalt an Magnesium und Calcium		mg/kg	68**	max. 20
** Werteangabe mit Veraschung / ICP analog DIN EN 241 überprüft				
Oxidasche	EN ISO 6245	Gew.-%	0,057	max. 0,01
Wassergehalt (K.F.)	EN ISO 12937	mg/kg	720	max. 750
Dynamischer Viskositätsverlauf			- siehe Anlage -	
Pourpoint	ISO 3016	°C	-24	

#### Elementscreening mittels ICP-OES

Es wurde ein Wellenlängenbereich von 180 bis 760 nm abgescannt:

Hauptbestandteile	Calcium, Kalium, Magnesium, Phosphor
Spuren	Eisen, Mangan
nicht nachgewiesen wurde	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Lithium, Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Titan, Wismut, Zinn, Zink

#### Fettsäureverteilung

bestimmt mit GC-FID, bezogen auf den mit TMSH umesterbaren Anteil der Probe

niedere Fettsäuren	< C12	Gew. %	unter 0,5
Laurinsäure	C12/0	Gew. %	unter 0,1
Myristinsäure	C14/0	Gew. %	unter 0,1
Palmitinsäure	C16/0	Gew. %	6,0
Palmitoleinsäure	C16/1	Gew. %	0,2
Stearinsäure	C18/0	Gew. %	2,7
Ölsäure	C18/1	Gew. %	11,7
Linolsäure	C18/2	Gew. %	54,2
Linolensäure	C18/3	Gew. %	17,2
Arachinsäure	C20/0	Gew. %	0,8
Gadoleinsäure	C20/1	Gew. %	0,9
höhere Fettsäuren	> C20	Gew. %	2,8
sonstige Fettsäuren		Gew. %	3,5

#### Cetanzahl *DIN 51773, modifiziert*

bestimmt mit BASF-MWM-Motor  
siehe hierzu Hinweise in V DIN 51605,  
Absatz 5.5 „Besonderheiten der Anforderung an die Zündwilligkeit“

43,5 min. 39

#### Bemerkungen Cetanzahl (Auszug aus der Anforderungsnorm V DIN 51605)

Während einerseits die Relevanz dieser Anforderung anerkannt ist, sind andererseits die derzeit als Norm vorliegenden Prüfverfahren zur Bestimmung der Cetanzahl im Prüfmotor nur sehr bedingt für die Messung der Zündwilligkeit vom Rapsölkraftstoff geeignet.

Während also einerseits die Anforderung an die Zündwilligkeit bestehen bleibt ist die zwingende Prüfung dieser Eigenschaft auszusetzen, bis eine entsprechende Prüfnorm vorliegt.

Der in Tabelle 1 genannte Grenzwert von 39 beruht auf Erfahrungswerten und ist aus den oben genannten Gründen noch nicht als abgesichert zu betrachten.

Wir danken für Ihren Auftrag und stehen für weitere Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

PETROLAB GmbH, Laboratorium für Mineralöl- und Umweltanalytik

D. Mahlis

i. A. D. Zahn

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

## Anhang 3: Analysezertifikat der Probe „Hanföl raffiniert“

TFZ  
Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für  
Nachwachsende Rohstoffe  
Frau Anja Rocktäschel  
Schulgasse 18

94315 Straubing



R<sub>0</sub>

**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

Speyer, 14. Februar 2007/Be  
Seite 1 von 2

### Analysezertifikat

Auftraggeber : Technologie- und Förderzentrum  
für Nachwachsende Rohstoffe, Frau Anja Rocktäschel,  
Schulgasse 18, 94315 Straubing  
Ihr Auftrag : mit Schreiben vom 06.02.2007  
Produkt : Hanfölprobe  
Probenbezeichnung : Hanföl Raffinat Sanfold  
Probenmenge : 2 x ca. 1 Liter in Kunststoffbehälter  
Auftragsgrund : Qualitätsüberprüfung  
Probeneingang : 09.02.2007  
PL-Nr. : 73.925,3

Das uns durch TNT Express zur Analyse übergebene Muster wurde zwischen Probeneingang und Zertifikatserstellung untersucht und folgende Analysenergebnisse erhalten:

<u>Aussehen/Geruch</u>	gelb, mittelviskos, süßlicher Geruch			
<u>Analysenkriterium</u>	<u>Methode</u>	<u>Dimension</u>	<u>Ergebnis</u>	<u>Grenzwerte</u>
Dichte bei 15 °C	EN ISO 12185	kg/m <sup>3</sup>	928,1	min. 900,0/max. 930,0
Flammpunkt (P.M.)	EN ISO 2719	°C	238,0	min. 220
Kinematische Viskosität bei 40 °C	EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	28,0	max. 36,0
Heizwert, unterer	DIN 51900-1, -3	kJ/kg entsprechend MJ/kg entsprechend kcal/kg	36.710 36,71 8.765	min. 36.000
Koksrückstand nach Conradson bestimmt im Original	EN ISO 10370	Gew.-%	0,61	max. 0,40
Jodzahl	EN 14111 berechnet aus Fettsäureverteilung	gJ/100g	163 160	min. 95 / max. 125
Schwefelgehalt, ausgedrückt als S	EN ISO 20884	mg/kg	unter 5 (MW unter 2)	max. 10
Gesamtverschmutzung (Membranfilterverfahren)	EN 12662	mg/kg	12	max. 24
Säurezahl	EN 14104	mgKOH/g	0,24	max. 2,0
Oxidationsstabilität bei 110 °C (Rancimat-Methode)	EN 14112	Stunden	2,4/2,5	min. 6,0
<b>Elementaranalyse</b>				
- Kohlenstoff		Gew.-%	77,74	
- Wasserstoff		Gew.-%	11,31	
- Sauerstoff		Gew.-%	10,95	
- Stickstoff		Gew.-%	unter 0,005	
Phosphorgehalt, ausgedrückt als P	EN 14107	mg/kg	unter 10 (unter 1)*	max. 12

\* Untere Nachweisgrenze der Methode (ICP) 10 mg/kg, Werteangabe mit Veraschung/Photometrisch ASTM D 3231 überprüft

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

Seite 2 von 2 zu Analysezertifikat  
TFZ, Straubing, PL-Nr. 73.925.3 vom 14.02.2007

**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

Analysekriterium	Methode	Dimension	Ergebnis	Grenzwerte
Magnesiumgehalt, ausgedrückt als Mg	prEN 14538	mg/kg	unter 10 (unter 1)**	
Calciumgehalt, ausgedrückt als Ca	prEN 14538	mg/kg	unter 10 (unter 1)**	
<b>Summengehalt an Magnesium und Calcium</b>		mg/kg	unter 10 (unter 1)**	max. 20
** Untere Nachweisgrenze der Methode (ICP) 10 mg/kg, Werteangabe mit Veraschung/Photometrisch ASTM D 3231 überprüft				
Oxidasthe	EN ISO 6245	Gew.-%	unter 0,005	max. 0,01
Wassergehalt (K.F.)	EN ISO 12937	mg/kg	185	max. 750
Dynamischer Viskositätsverlauf			- siehe Anlage -	
Pourpoint	ISO 3016	°C	-21	

#### Elementscreening mittels ICP-OES

Es wurde ein Wellenlängenbereich von 180 bis 760 nm abgescannt:

Hauptbestandteile	keine
Spuren	Calcium, Magnesium
nicht nachgewiesen wurde	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Eisen Kalium Kobalt, Kupfer, Lithium, Mangan Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Phosphor Titan, Wismut, Zinn, Zink

#### Fettsäureverteilung

bestimmt mit GC-FID, bezogen auf den mit TMSH umesterbaren Anteil der Probe

niedere Fettsäuren	< C12	Gew. %	unter 0,5
Laurinsäure	C12/0	Gew. %	unter 0,1
Myristinsäure	C14/0	Gew. %	unter 0,1
Palmitinsäure	C16/0	Gew. %	5,8
Palmitoleinsäure	C16/1	Gew. %	0,1
Stearinsäure	C18/0	Gew. %	2,6
Ölsäure	C18/1	Gew. %	12,2
Linolsäure	C18/2	Gew. %	55,6
Linolensäure	C18/3	Gew. %	18,2
Arachinsäure	C20/0	Gew. %	0,8
Gadoleinsäure	C20/1	Gew. %	0,5
höhere Fettsäuren	> C20	Gew. %	1,1
sonstige Fettsäuren		Gew. %	3,1

#### Cetanzahl *DIN 51773, modifiziert*

bestimmt mit BASF-MWM-Motor  
siehe hierzu Hinweise in V DIN 51605,  
Absatz 5.5 „Besonderheiten der Anforderung an die Zündwilligkeit“

46,7 min. 39

#### Bemerkungen Cetanzahl (Auszug aus der Anforderungsnorm V DIN 51605)

Während einerseits die Relevanz dieser Anforderung anerkannt ist, sind andererseits die derzeit als Norm vorliegenden Prüfverfahren zur Bestimmung der Cetanzahl im Prüfmotor nur sehr bedingt für die Messung der Zündwilligkeit vom Rapsölkraftstoff geeignet.

Während also einerseits die Anforderung an die Zündwilligkeit bestehen bleibt ist die zwingende Prüfung dieser Eigenschaft auszusetzen, bis eine entsprechende Prüfnorm vorliegt.

Der in Tabelle 1 genannte Grenzwert von 39 beruht auf Erfahrungswerten und ist aus den oben genannten Gründen noch nicht als abgesichert zu betrachten.

Wir danken für Ihren Auftrag und stehen für weitere Rückfragen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

PETRO LAB GmbH, Laboratorium für Mineralöl- und Umweltanalytik

D. Mehl

i. A. D. Zahn

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das uns übergebene Muster in den geprüften Kriterien. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflaboratoriums darf dieser Prüfbericht nicht auszugsweise veröffentlicht werden.

## Anhang 4: Analysezertifikat der Probe „Hanföl heißgepresst“

**PETRO LAB**  
GMBHBrunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de**Ergänzung zum Analysezertifikat: PL-Nr.: 73.925,1**

Probe: Hanföl kaltgepresst 2078

Hauptbestandteile	Calcium, Magnesium, Phosphor
Spuren	Kalium, Eisen, Mangan
nicht nachgewiesen wurden	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Lithium, Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Titan, Wismut, Zinn, Zink

<b>Element</b>	<b>Dimension</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Nachweisgrenze</b>
<u>Hauptbestandteile</u>			
Calcium, als Ca	mg/kg	16	unter 1
Magnesium, als Mg	mg/kg	6	unter 1
Phosphor, als P	mg/kg	24	unter 1
<u>Spurenbestandteile</u>			
Kalium, als K	mg/kg	0,8	unter 0,5
Eisen, als Fe	mg/kg	0,5	unter 0,5
Mangan, als Mn	mg/kg	0,6	unter 0,5
<u>nicht nachgewiesene Elemente</u>			
Aluminium, als Al	mg/kg	unter 1	unter 1
Barium, als Ba	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Beryllium, als Be	mg/kg	unter 1	unter 1
Blei, als Pb	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Bor, als B	mg/kg	unter 2	unter 2
Cadmium, als Cd	mg/kg	unter 0,2	unter 0,2
Chrom, als Cr	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kobalt, als Co	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kupfer, als Cu	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Lithium, als Li	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Molybdän, als Mo	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Natrium, als Na	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Nickel, als Ni	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Schwefel, als S	mg/kg	unter 5	unter 5
Silicium, als Si	mg/kg	unter 1	unter 1
Titan, als Ti	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Wismut, als Bi	mg/kg	unter 2	unter 2
Zinn, als Sn	mg/kg	unter 2	unter 2
Zink, als Zn	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5

**Ergänzung zum Analysezertifikat: PL-Nr.: 73.925,2**

Probe: Hanföf roh 1558

Hauptbestandteile	Calcium, Magnesium, Phosphor, Kalium
Spuren	Eisen, Mangan
nicht nachgewiesen wurden	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Lithium, Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Titan, Wismut, Zinn, Zink

<b>Element</b>	<b>Dimension</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Nachweisgrenze</b>
<u>Hauptbestandteile</u>			
Calcium, als Ca	mg/kg	52	unter 1
Magnesium, als Mg	mg/kg	16	unter 1
Kalium, als K	mg/kg	48	unter 0,5
Phosphor, als P	mg/kg	93	unter 1
<u>Spurenbestandteile</u>			
Eisen, als Fe	mg/kg	4	unter 0,5
Mangan, als Mn	mg/kg	1	unter 0,5
<u>nicht nachgewiesene Elemente</u>			
Aluminium, als Al	mg/kg	unter 1	unter 1
Barium, als Ba	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Beryllium, als Be	mg/kg	unter 1	unter 1
Blei, als Pb	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Bor, als B	mg/kg	unter 2	unter 2
Cadmium, als Cd	mg/kg	unter 0,2	unter 0,2
Chrom, als Cr	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kobalt, als Co	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kupfer, als Cu	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Lithium, als Li	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Molybdän, als Mo	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Natrium, als Na	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Nickel, als Ni	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Schwefel, als S	mg/kg	unter 5	unter 5
Silicium, als Si	mg/kg	unter 1	unter 1
Titan, als Ti	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Wismut, als Bi	mg/kg	unter 2	unter 2
Zinn, als Sn	mg/kg	unter 2	unter 2
Zink, als Zn	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5



**PETRO LAB**  
GMBH

Brunckstraße 12 · D-67346 Speyer  
Telefon: 06232/33011 · Fax: 06232/33015  
E-Mail: info@petrolab.de

**Ergänzung zum Analysenzertifikat: PL-Nr.: 73.925,3**

Probe: Hanföl Raffinat Sanfold

Hauptbestandteile	Calcium, Magnesium, Phosphor
Spuren	Kalium, Eisen, Mangan
nicht nachgewiesen wurden	Aluminium, Barium, Beryllium, Blei, Bor, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Lithium, Molybdän, Natrium, Nickel, Schwefel, Silicium, Titan, Wismut, Zinn, Zink

<u>Element</u>	<u>Dimension</u>	<u>Ergebnis</u>	<u>Nachweisgrenze</u>
<u>Hauptbestandteile</u>		keine	
<u>Spurenbestandteile</u>			
Calcium, als Ca	mg/kg	unter 1 (0,6)	unter 1
Magnesium, als Mg	mg/kg	unter 1 (0,4)	unter 1
<u>nicht nachgewiesene Elemente</u>			
Aluminium, als Al	mg/kg	unter 1	unter 1
Barium, als Ba	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Beryllium, als Be	mg/kg	unter 1	unter 1
Blei, als Pb	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Bor, als B	mg/kg	unter 2	unter 2
Cadmium, als Cd	mg/kg	unter 0,2	unter 0,2
Chrom, als Cr	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Eisen, als Fe	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kalium, als K	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kobalt, als Co	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Kupfer, als Cu	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Lithium, als Li	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Mangan, als Mn	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Molybdän, als Mo	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Natrium, als Na	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Nickel, als Ni	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Phosphor, als P	mg/kg	unter 1	unter 1
Schwefel, als S	mg/kg	unter 5	unter 5
Silicium, als Si	mg/kg	unter 1	unter 1
Titan, als Ti	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5
Wismut, als Bi	mg/kg	unter 2	unter 2
Zinn, als Sn	mg/kg	unter 2	unter 2
Zink, als Zn	mg/kg	unter 0,5	unter 0,5