



12

Berichte aus dem TFZ

Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung

Technologische Untersuchungen und
Erarbeitung von Qualitäts-
sicherungsmaßnahmen



**Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung
für den Nicht-Nahrungsbereich**

**Technologische Untersuchungen und
Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen**



Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeu- gung für den Nicht-Nahrungs- bereich

**Technologische Untersuchungen und
Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen**

Dr. Edgar Remmele
Kathrin Stotz
Josef Witzelsperger
Thomas Gassner

Berichte aus dem TFZ 12

Straubing, Oktober 2007

Titel: Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich

Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von
Qualitätssicherungsmaßnahmen FKZ 22012903

Projektleiter: Dr. Edgar Remmele
Bearbeiter und Autoren: Dr. Edgar Remmele, Kathrin Stotz, Thomas Gassner, Josef Witzelsperger
Bearbeiter: Anja Rocktäschel, Roland Fleischmann, Thomas Kießlinger

In Zusammenarbeit mit:

Torsten Graf Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg
Michael Conrad

Dr. Wolfgang Schumann Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei
Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow

Dr. Ulrike Schümann Universität Rostock – Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und
Verbrennungsmotoren, Rostock

Dr. Thomas Wilharm Analytik-Service Gesellschaft mbH, Täferingen

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 22012903 (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) gefördert. 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: 1614-1008

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

E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de

Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Dr. Edgar Remmele

Verlag: Eigenverlag TFZ

Erscheinungsort: Straubing

Erscheinungsjahr: 2007

Gestaltung: Dr. Edgar Remmele, Josef Witzelsperger, Herbert Sporrer

Fotonachweis: TFZ und Dr. U. Schümann (S. 177, 181, 183, 184)

Danksagung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich“ wurde im Labormaßstab aber auch vor Ort in dezentralen Ölmühlen untersucht, wie die Qualität von kaltgepresstem Rapsölkraftstoff beeinflusst werden kann.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Kolleginnen und Kollegen, Firmenvertretern sowie Betreibern dezentraler Ölmühlen, die an den Forschungsarbeiten beteiligt waren, möchte ich an dieser Stelle danken.

Insbesondere gilt mein Dank den Projektpartnern Frau Dr. Schümann und Frau Bahl von der Universität Rostock, Herrn Torsten Graf und Herrn Conrad von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Herrn Dr. Schumann und Herrn Dr. Gurgel von der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern sowie Herrn Dr. Wilharm von der Analytik-Service Gesellschaft mbH für die beispielhafte Zusammenarbeit.

Danken möchte ich auch Herrn Aigner und Herrn Salzeder vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern für die Bereitstellung von Rapschargen aus den Landessortenversuchen sowie Herrn Schlotter von Dow AgroSciences für die Überlassung von High-Oleic-Sommerrapssaat.

Wesentlich haben auch Firmen zum Gelingen des Forschungsvorhabens beigetragen, die die Untersuchungen mit der kostenlosen Bereitstellung von Filterapparaten unterstützt haben. Diesbezüglich möchte ich Herrn Wagner und Herrn Schleier von Amafiltergroup, Herrn Schmidt von Pall sowie Herrn Jäger von Filbertechnik Jäger meinen Dank aussprechen.

Allen Ölmühlenbetreibern sei gedankt, die uns den Zutritt zu ihren Anlagen gestattet und stets kooperativ mitgearbeitet haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) für die Finanzierung der Forschungsarbeiten. Insbesondere bei Herrn Winkelmann und Herrn Dr.-Ing. Stanev von der FNR möchte ich mich für die sehr gute Zusammenarbeit bedanken.

Allen Ölmühlenbetreibern wünsche ich viel Erfolg bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff.

Dr. Edgar Remmele

Leiter

Sachgebiet Biogene Kraft-, Schmier- und Verfahrensstoffe
am Technologie- und Förderzentrum (TFZ)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis		7
Abbildungsverzeichnis		11
Tabellenverzeichnis		21
1 Einleitung und Problemstellung		23
2 Zielsetzung		25
3 Stand des Wissens		27
3.1 Qualität von Rapsölkraftstoff		27
3.2 Untersuchungen zur Ölgewinnung		28
3.2.1 Einfluss der Rapssorten auf die Rapsölkraftstoffqualität		28
3.2.2 Einfluss der Rapssaatbeschaffenheit auf die Rapsölkraftstoffqualität		29
3.2.3 Einfluss der Pressenparameter auf die Rapsölkraftstoffqualität		32
3.3 Untersuchungen zur Endfiltration		32
3.4 Lagerung von Rapsölkraftstoff		33
4 Methodisches Vorgehen		35
4.1 Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen		35
4.2 Beprobung von Rapsölkraftstoffproduzenten „Beprobung Qualitätssicherung“		35
4.3 Beprobung von Rapsölkraftstoffproduzenten „Beprobung Markttransparenz“		40
4.4 Einfluss der Rapssaat und des Verarbeitungsprozesses auf die Qualität von Rapsölkraftstoff		42
4.4.1 Einfluss der Rapssorte auf die Qualität von Rapsölkraftstoff		42
4.4.2 Einfluss der Rapssaatqualität auf die Qualität von Rapsölkraftstoff		43
4.4.3 Verarbeitung der Ölsaaten		48
4.4.4 Standardisierte Laborreinigung der Öle		49
4.4.5 Einfluss der Prozessparameter bei der Ölpressung		50
4.5 Endfiltration von Rapsölkraftstoff		50
4.6 Schnelltest Gesamtverschmutzung		57
4.7 Lagerung von Rapsölkraftstoff		58
4.7.1 Aufbau des Lagerungsversuchs		59
4.7.2 Probenahme		62
4.8 Analytik		63
5 Ergebnisse und Diskussion		65
5.1 Beprobung Qualitätssicherung		65

5.1.1	Betriebsbedingungen der Ölpresse.....	65
5.1.2	Eigenschaften der Rapssaat.....	66
5.1.2.1	Ölgehalt.....	67
5.1.2.2	Säurezahl.....	68
5.1.2.3	Wassergehalt.....	69
5.1.3	Eigenschaften des Rapspresskuchens.....	70
5.1.4	Eigenschaften des Rapsölkraftstoffs.....	71
5.1.4.1	Gesamtverschmutzung.....	71
5.1.4.2	Säurezahl.....	72
5.1.4.3	Phosphorgehalt.....	74
5.1.4.4	Summengehalt an Calcium und Magnesium.....	75
5.1.4.5	Schwefelgehalt.....	76
5.1.4.6	Oxidationsstabilität.....	78
5.1.4.7	Wassergehalt.....	79
5.1.5	Zusammenfassung „Beprobung Qualitätssicherung“.....	80
5.2	Beprobung Markttransparenz.....	81
5.2.1	Gesamtverschmutzung.....	83
5.2.2	Säurezahl.....	84
5.2.3	Phosphorgehalt.....	85
5.2.4	Summengehalt an Calcium und Magnesium.....	86
5.2.5	Schwefelgehalt.....	87
5.2.6	Oxidationsstabilität.....	88
5.2.7	Wassergehalt.....	89
5.2.8	Zusammenfassung „Beprobung Markttransparenz“.....	90
5.3	Untersuchungen zur Ölgewinnung.....	93
5.3.1	Einfluss der Rapssorte.....	93
5.3.1.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	93
5.3.1.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	101
5.3.2	Einfluss des Anteils an Besatz in der Rapssaat.....	107
5.3.2.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	107
5.3.2.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	109
5.3.3	Einfluss des Reifegrads der Rapssaat.....	113
5.3.3.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	113
5.3.3.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	116
5.3.4	Einfluss des Anteils an Auswuchs in der Saat.....	120
5.3.4.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	120
5.3.4.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	123
5.3.5	Einfluss der Saatschälung.....	127
5.3.5.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	127
5.3.5.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	130
5.3.6	Einfluss der Trocknungstemperatur.....	134
5.3.6.1	Eigenschaften der Rapssaat.....	134
5.3.6.2	Eigenschaften des Rapsöls.....	137
5.3.7	Zusammenfassung Einfluss der Rapssaat auf die Rapsölqualität.....	141
5.3.8	Einfluss der Prozessparameter bei der Ölpresung.....	142
5.4	Endfiltration von Rapsölkraftstoff.....	144
5.4.1	Beutelfilter.....	145
5.4.2	Kerzenfilter.....	155
5.4.3	Tiefenfilter.....	165
5.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Filteruntersuchungen.....	173

5.5	Schnelltest Gesamtverschmutzung	174
5.5.1	Methode auf Basis des Durchdringungswiderstandes.....	174
5.5.2	Methode auf Basis der Streulichtmessung	179
5.5.3	Weiterentwicklung der Schnelltestmethode des Technologie- und Förderzentrums...	180
5.6	Untersuchungen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff	186
5.6.1	Säurezahl	188
5.6.2	Oxidationsstabilität	193
5.6.3	Wassergehalt	198
5.6.4	Empfehlung zur Lagerung von Rapsölkraftstoff.....	203
5.7	EDV-gestützter Maßnahmenkatalog zum Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff.....	204
6	Aktuelle Entwicklungen bei der Herstellung und Nutzung von Rapsölkraftstoff	205
	Zusammenfassung	209
	Quellenverzeichnis.....	213
	Anhang.....	219

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Qualitätssicherung“	37
Abbildung 2:	Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Qualitätssicherung“ - Auswahl nach Lieferanten im „100-Traktoren-Demonstrationsvorhaben“	37
Abbildung 3:	Probenahmestellen an den Ölgewinnungsanlagen	39
Abbildung 4:	Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Markttransparenz“	41
Abbildung 5:	Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen - Teilnahme „Beprobung Qualitätssicherung“ und Teilnahme „Beprobung Markttransparenz“	41
Abbildung 6:	Steigsichter „Röber Mini-Petkus“	45
Abbildung 7:	Verschiedene Besatzfraktionen nach Reinigung (von links nach rechts: Steigsichter, Obersieb und Untersieb).....	46
Abbildung 8:	Standardisierte Laborreinigung	49
Abbildung 9:	Filtergehäuse für Beutelfilter des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben).....	52
Abbildung 10:	Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)	52
Abbildung 11:	Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben).....	53
Abbildung 12:	Filtergehäuse für Beutelfilter des Herstellers Filbertechnik Jäger (Herstellerangaben)	53
Abbildung 13:	Beutelfilter 2-AXL-1 µm und 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filbertechnik Jäger (Herstellerangaben).....	54
Abbildung 14:	Kerzenfiltergehäuse T 910064-246 des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)	54
Abbildung 15:	Filterkerzen des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben).....	55
Abbildung 16:	Kerzenfiltergehäuse EKF-PP-10“/SM-¾“ des Herstellers Filbertechnik Jäger (Herstellerangaben).....	55
Abbildung 17:	Filterkerze NT-1 µm-9¾” des Herstellers Filbertechnik Jäger (Herstellerangaben)	56
Abbildung 18:	Filtergehäuse VELAdisc B für Tiefenfiltermodule SUPRADisc des Herstellers Pall SeitzSchenk.....	56
Abbildung 19:	Filtermodule SUPRADisc für Filtergehäuse VELAdisc B des Herstellers Pall SeitzSchenk.....	57
Abbildung 20:	Varianten des Lagerungsversuchs	58

Abbildung 21:	Aufbau der Lagervariante „dunkel 20 °C“ und Probenahme bei den Untersuchungen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff	62
Abbildung 22:	Abpressgrad (TM) (berechnet) der Ölmühlen zu den verschiedenen Probenahmezeitpunkten	66
Abbildung 23:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der verarbeiteten Rapssaatproben.....	67
Abbildung 24:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der verarbeiteten Rapssaatproben	68
Abbildung 25:	Wassergehalt (DIN 51718) der verarbeiteten Rapssaatproben	69
Abbildung 26:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapspresskuchenproben	70
Abbildung 27:	Gesamtverschmutzung (DIN EN ISO 12662) der Rapsölkraftstoffproben.....	72
Abbildung 28:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben.....	73
Abbildung 29:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben.....	74
Abbildung 30:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben.....	75
Abbildung 31:	Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben.....	77
Abbildung 32:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben	78
Abbildung 33:	Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben.....	79
Abbildung 34:	Einhaltung der Grenzwerte bei der „Beprobung Qualitätssicherung“	80
Abbildung 35:	Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	83
Abbildung 36:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	84
Abbildung 37:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	85
Abbildung 38:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	86
Abbildung 39:	Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	87
Abbildung 40:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	88
Abbildung 41:	Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“	89
Abbildung 42:	Einhaltung der Grenzwerte „Limitwert bei der Abnahme (LWA)“ - „Beprobung Markttransparenz“	92
Abbildung 43:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2004 - Herkunft TLL Thüringen	94

Abbildung 44:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2005 - Herkunft TLL Thüringen	94
Abbildung 45:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2004 - Herkunft LfL Bayern.....	95
Abbildung 46:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2005 - Herkunft LfL Bayern.....	96
Abbildung 47:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Sommerrapssorten Ernte 2004 - Herkunft LfL Bayern.....	97
Abbildung 48:	Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Sommerrapssorten Ernte 2005 - Herkunft TLL Thüringen	97
Abbildung 49:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005	98
Abbildung 50:	Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005.....	99
Abbildung 51:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005 ...	100
Abbildung 52:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005.....	101
Abbildung 53:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005 ...	102
Abbildung 54:	Iodzahl (DIN EN 14111) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005.....	103
Abbildung 55:	Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005 ...	104
Abbildung 56:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005.....	105
Abbildung 57:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005	106
Abbildung 58:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	107
Abbildung 59:	Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz	108
Abbildung 60:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	108
Abbildung 61:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	109
Abbildung 62:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	110

Abbildung 63:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	111
Abbildung 64:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz.....	112
Abbildung 65:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat.....	113
Abbildung 66:	Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat	114
Abbildung 67:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat.....	115
Abbildung 68:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat.....	116
Abbildung 69:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat	117
Abbildung 70:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat.....	118
Abbildung 71:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat	119
Abbildung 72:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	120
Abbildung 73:	Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs	121
Abbildung 74:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	122
Abbildung 75:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	123
Abbildung 76:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	124
Abbildung 77:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	125
Abbildung 78:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs.....	126
Abbildung 79:	Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat	127
Abbildung 80:	Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat.....	128
Abbildung 81:	Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat	129

Abbildung 82:	Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat	130
Abbildung 83:	Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat	131
Abbildung 84:	Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat	132
Abbildung 85:	Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat.....	133
Abbildung 86:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaat	134
Abbildung 87:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaat.....	135
Abbildung 88:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaat	136
Abbildung 89:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Säurezahl (DIN EN 14104) des Rapsöls.....	137
Abbildung 90:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) des Rapsöls	138
Abbildung 91:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Phosphorgehalt (DIN EN 14107) des Rapsöls.....	139
Abbildung 92:	Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) des Rapsöls.....	140
Abbildung 93:	Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Abpressgrad bei der Ölpresse AP12 des Herstellers Reinartz.....	142
Abbildung 94:	Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Phosphorgehalt im Rapsöl bei der Ölpresse AP12 des Herstellers Reinartz.....	143
Abbildung 95:	Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Summengehalt an Calcium und Magnesium im Rapsöl bei der Ölpresse AP12 des Herstellers Reinartz.....	144
Abbildung 96:	Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	146
Abbildung 97:	Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2.....	146
Abbildung 98:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	147
Abbildung 99:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	147
Abbildung 100:	Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	148

Abbildung 101: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	148
Abbildung 102: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	149
Abbildung 103: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	149
Abbildung 104: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	151
Abbildung 105: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2	151
Abbildung 106: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	152
Abbildung 107: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2	152
Abbildung 108: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	153
Abbildung 109: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2	153
Abbildung 110: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	154
Abbildung 111: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2	154
Abbildung 112: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	156
Abbildung 113: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	156
Abbildung 114: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	157
Abbildung 115: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	157
Abbildung 116: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	158

Abbildung 117: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2.....	158
Abbildung 118: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	159
Abbildung 119: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	159
Abbildung 120: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	161
Abbildung 121: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2.....	161
Abbildung 122: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1	162
Abbildung 123: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2	162
Abbildung 124: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter NT-1 $\mu\text{m}-9\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	163
Abbildung 125: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter NT-1 $\mu\text{m}-9\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2.....	163
Abbildung 126: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter NT-1 $\mu\text{m}-9\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1	164
Abbildung 127: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter NT-1 $\mu\text{m}-9\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2.....	164
Abbildung 128: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	166
Abbildung 129: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	166
Abbildung 130: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	167
Abbildung 131: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	167
Abbildung 132: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	168

Abbildung 133: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	168
Abbildung 134: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	169
Abbildung 135: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	169
Abbildung 136: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	171
Abbildung 137: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	171
Abbildung 138: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1	172
Abbildung 139: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2	172
Abbildung 140: Messung der Filterbelegung für ein festgelegtes Probenvolumen durch Erfassung des zeitbezogenen Volumenstroms	175
Abbildung 141: Erfassung der Filterbelegung durch Messung des zeitbezogenen Volumenstroms	176
Abbildung 142: Beschreibung des Zeit-Volumenstroms durch Polynom und Vergleich der Koeffizienten	176
Abbildung 143: Prüfstands Aufbau für die Versuchsmessungen	177
Abbildung 144: Anstiegsverhältnis der untersuchten Proben in Abhängigkeit von der Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662)	178
Abbildung 145: Messzeit der untersuchten Proben in Abhängigkeit von der Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662)	178
Abbildung 146: Versuchsaufbau – Optisches Verfahren	180
Abbildung 147: Computergestützte Auswerteeinheit für den Schnelltest	181
Abbildung 148: Grafische Oberfläche des Programms „FilterAnalyzer“	183
Abbildung 149: Übereinstimmung von Maske und Filter	183
Abbildung 150: Nichtübereinstimmung von Maske und Filter	184
Abbildung 151: Analyse dreier Filter mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad – links: Probe liegt unter dem Grenzwert, mitte: Probe liegt im Grenzwertbereich und rechts: Probe liegt über dem Grenzwert	184
Abbildung 152: Temperaturverlauf der Variante „Tagesgang“	186

Abbildung 153: Temperaturverlauf der Variante „dunkel 20 °C“	187
Abbildung 154: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps.....	189
Abbildung 155: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME.....	190
Abbildung 156: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps	191
Abbildung 157: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps.....	192
Abbildung 158: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps.....	194
Abbildung 159: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME.....	195
Abbildung 160: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps	196
Abbildung 161: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps.....	197
Abbildung 162: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps.....	199
Abbildung 163: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME.....	200
Abbildung 164: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps	201
Abbildung 165: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps.....	202
Abbildung 166: Maßnahmenkatalog auf Basis von Microsoft® Excel für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 – Startseite.....	204

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Probenahmezeiträume der „Beprobung Qualitätssicherung“	36
Tabelle 2:	Probenahmezeiträume der „Beprobung Markttransparenz“	40
Tabelle 3:	Rapssorten für die Untersuchungen zum Einfluss der Rapssorte auf die Rapsölkraftstoffqualität	42
Tabelle 4:	Varianten der Untersuchungen zum Einfluss der Rapssaatqualität	43
Tabelle 5:	Prüfergebnisse der Fettsäuremuster der Rapssorten Elektra und Oase (pr EN 14103)	44
Tabelle 6:	Codierung, Beschreibung und Erntezeitpunkte der Rapssaat Sorte Oase Ernte 2004 und 2005 nach der BBCH-Codierung [33]	47
Tabelle 7:	Analysewerte der Ausgangsöle des Lagerungsversuchs	59
Tabelle 8:	Codierung der Lagerungsvarianten	61
Tabelle 9:	Versuchsvarianten und zu untersuchende Kennwerte	63
Tabelle 10:	Kennwerte und Prüfmethode für die Untersuchung von Rapssaat, Rapspresskuchen und Rapsölkraftstoff	64
Tabelle 11:	Grenzwerte für Rapsölkraftstoff und Limitwerte für Rapsölkraftstoff aus Sicht des Produzenten und des Abnehmers	82
Tabelle 12:	Anzahl der Ölmühlen, die zu den verschiedenen Auswertungsphasen den LWA eingehalten oder nur einmal nicht eingehalten haben	92
Tabelle 13:	Versuchsparameter Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS	145
Tabelle 14:	Versuchsparameter Beutelfilter AP 1/1/1S-1S	145
Tabelle 15:	Versuchsparameter Beutelfilter 2-AXL-1 µm	150
Tabelle 16:	Versuchsparameter Beutelfilter 2-PES-1 µm/P	150
Tabelle 17:	Versuchsparameter Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N	155
Tabelle 18:	Versuchsparameter Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N	155
Tabelle 19:	Versuchsparameter Kerzenfilter ES 001-0-U-X0	160
Tabelle 20:	Versuchsparameter Kerzenfilter NT-1 µm-9¾’’	160
Tabelle 21:	Versuchsparameter Tiefenfilter SUPRADisc SD K300	165
Tabelle 22:	Versuchsparameter Tiefenfilter SUPRADisc SD K700	165
Tabelle 23:	Versuchsparameter Tiefenfilter SUPRADisc SDT II T500	170
Tabelle 24:	Technische Daten des „OpticSlim M12 Plus“	182
Tabelle 25:	Dezentrale Ölmühlen in Deutschland	206

1 Einleitung und Problemstellung

In Deutschland produzierten im Jahr 2003 neben 13 industriellen Ölmühlen rund 219 dezentrale Ölgewinnungsanlagen Rapsöl für unterschiedliche Verwendungszwecke. Von diesen dezentralen Anlagen wurden ca. 380.000 t Rapssaat verarbeitet, was einer erzeugten Rapsölmenge von 128.000 t entspricht [51]. Die Anzahl der dezentralen Ölgewinnungsanlagen ist seit dem Jahr 2003 auf einen Stand von ca. 577 Betrieben im März 2007 gestiegen. Hauptproduktionsschwerpunkt dieser Anlagen ist vorwiegend Rapsöl als Kraftstoff. Dieser gewinnt als Substitut für fossilen Kraftstoff in pflanzenöлтаuglichen Motoren vor allem beim Einsatz in landwirtschaftlichen Maschinen aber auch im Speditionsgewerbe zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind neben dem Preisgefüge zwischen Rapsölkraftstoff und Agrardiesel, die Steigerung der Wertschöpfung und die Versorgungssicherheit durch die heimische Kraftstofferzeugung in der Landwirtschaft, die Möglichkeit der Nutzung des bei der Ölgewinnung anfallenden Kuppelproduktes Rapspresskuchen, aber auch Vorteile beim Boden- und Gewässerschutz sowie das Bestreben CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Für einen zuverlässigen Betrieb pflanzenöлтаuglicher Motoren und die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten ist es zwingend erforderlich, dass Rapsölkraftstoff in seiner Qualität bestimmte Mindestanforderungen erfüllt. Im „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) 05/2000“ [40] [39] wurden erstmals Mindestanforderungen an Rapsölkraftstoff für die Verwendung in pflanzenöлтаuglichen Motoren dokumentiert. Der RK-Qualitätsstandard fand sowohl national als auch international große Beachtung und hat sich in der Praxis etabliert. So war zum Beispiel Rapsölkraftstoff nach dem RK-Qualitätsstandard die verbindliche Kraftstoffqualität für den Einsatz im Verbundprojekt des BMVEL / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. „100-Traktoren-Demonstrationsvorhaben“ [22]. Zur Weiterführung der Qualitätsdefinition von Rapsölkraftstoff wurde im Herbst 2003 ein Normungsausschuss 632.2 des Fachausschusses Mineralöl- und Brennstoffnormung im Deutschen Institut für Normung e.V. DIN „Prüfung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren“ eingerichtet, mit dem Ziel zunächst in einer Vornorm die Mindestanforderungen zusammenzufassen. Arbeitsgrundlage für die Normungsarbeiten war der RK-Qualitätsstandard 05/2000. Diese Vornorm ersetzt den „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) 05/2000“ und legt weitergehende Qualitätskriterien für Rapsölkraftstoff fest. Als Ergebnis der Arbeiten wurde im Juni 2005 der Entwurf und im Juli 2006 die Vornorm DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenöлтаugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren“ [13], veröffentlicht. Die Vornorm fand zwischenzeitlich in der Öffentlichkeit große Resonanz und wird bei der Gesetzgebung zitiert. So ist beispielsweise die Steuerbegünstigung von Pflanzenölen als Energieerzeugnisse [3] an die Einhaltung der Qualitätsvorgaben der Vornorm DIN V 51605 gekoppelt.

In der Projektphase I des Vorhabens „Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich - Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis“ (FKZ 22004900) [42] wurden im Zeitraum Dezember 2002 bis Mai 2003 32 Hersteller von Rapsölkraftstoff beprobt. Dabei wurde festgestellt, dass nur selten alle Grenzwerte der analysierten Kennwerte des RK-Qualitätsstandards eingehalten wurden. Erhebliche Abweichungen der Kraftstoffquali-

tät von den Anforderungen des RK-Qualitätsstandards 05/2000 wurden auch im Rahmen des „100-Trakoren-Demonstrationsvorhabens“ festgestellt [47] [22].

In der Projektphase I [42] wurden bei der Analyse von Rapsölkraftstoffproben häufig Probleme bei der Einhaltung der Grenzwerte für Säurezahl und Gesamtverschmutzung festgestellt. Erstmals wurden auch im größeren Umfang Werte für den Calciumgehalt in Rapsölkraftstoff gemessen, die zum Teil auf dem Niveau des Phosphorgehalts oder darüber liegen.

Zusammenhänge, die den Einfluss der Rapsorte, der Rapssaat und der Ölsaatenverarbeitung sowie der Lagerung auf die Rapsölkraftstoffqualität erklären könnten, sind bislang noch nicht beziehungsweise noch nicht ausreichend untersucht worden. Darum kann den Betreibern von dezentralen Ölgewinnungsanlagen nicht hinreichend Hilfestellung gegeben werden, wie bei der Produktion von Rapsölkraftstoff bestimmte Qualitätsparameter beeinflusst werden können. Zudem ist die Einführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der dezentralen Erzeugung von Rapsölkraftstoff ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur kontinuierlichen Kraftstoffherzeugung auf hohem Qualitätsniveau.

Rapsölkraftstoff wird heute schon von vielen Landwirten, BHKW-Betreibern und Spediteuren eingesetzt. Da die Qualität von Rapsölkraftstoff jedoch bisher nicht, wie bei anderen Kraftstoffen, von unabhängiger Stelle überwacht wird, sind die Käufer von Rapsölkraftstoff oft verunsichert, von welchen Ölmühlen sie Rapsölkraftstoff von hoher Qualität beziehen können. Kurzfristig kann eine höhere Markttransparenz, bezüglich der Qualitätserzeugung von Rapsölkraftstoff, deshalb nur durch eine regelmäßige und unangekündigte Beprobung des Endprodukts von dritter Seite erreicht werden. Die Veröffentlichung der Analysenergebnisse kann dem Verbraucher als Entscheidungshilfe für die Bezugsquelle dienen und von Rapsölkraftstoffproduzenten für Werbezwecke genutzt werden.

2 Zielsetzung

Ziel des Vorhabens ist es, die Versorgung des Marktes mit einer gleichbleibenden hohen Qualität von Rapsölkraftstoff, gemäß der Vornorm DIN V 51605, zu verbessern. Hierzu ist es erforderlich, zum einen die derzeitige Qualität von Rapsölkraftstoff am Markt zu erfassen, zum anderen technologische Untersuchungen zum Einfluss der Rapssaat, der Ölgewinnung, Ölreinigung sowie der Öllagerung auf die Rapsölkraftstoffqualität durchzuführen.

Bereits zu Beginn des Vorhabens soll nach vorliegendem Kenntnisstand eine Handreichung „Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen“ erstellt werden. Diese Handreichung soll Hinweise für die Produktion und Lagerung von qualitativ hochwertigem Rapsölkraftstoff geben. Die Handreichung soll während des Vorhabens laufend aktualisiert und ergänzt werden.

Eine Beprobung von Rapsölkraftstoffproduzenten, mit Schwerpunkt auf Ölmühlen, die im Rahmen des „100-Traktoren-Demonstrationsvorhabens“ als Lieferanten auftreten, soll, analog zu Projektphase I [42], fortgesetzt werden. Der Einfluss der Rapssaatqualität der Erntejahre 2004 und 2005 soll dabei erfasst werden. Dadurch lässt sich die Datengrundlage für die in der Praxis auftretenden Qualitätsunterschiede von Rapsölkraftstoff verbessern.

Durch Versuche zur Ölgewinnung im Technikumsmaßstab sollen Zusammenhänge zwischen Rapsorte (Winterraps, Sommerraps, High-Oleic-Raps) und Rapssaatqualität (zum Beispiel Besatz, Auswuchs, unreife Saat und geschälte Saat sowie Einfluss der Saattrocknungstemperatur) auf Eigenschaften von Rapsölkraftstoff aufgezeigt werden. Zielgrößen bei der Ölanalyse sind die Kennwerte Phosphorgehalt, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Wassergehalt, Schwefelgehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt, Iodzahl und Fettsäuremuster.

Der Einfluss von Lagerungsbedingungen und -dauer auf Qualitätsparameter von Rapsölkraftstoff soll über einen Zeitraum von 1½ Jahren untersucht werden. Kraftstoffmischungen zum Beispiel mit Fettsäuremethylester, die in der Praxis zur Rapsölvergällung hergestellt werden, werden ebenfalls miteinbezogen. Durch die Herstellung von Rapsölkraftstoffmischungen aus Ölen von konventionellen 00-Rapssaaten und Ölen von High-Oleic-Rapssaaten soll geprüft werden, ob durch letztere bestimmte Qualitätsparameter, wie zum Beispiel die Oxidationsstabilität, positiv dauerhaft beeinflusst werden können.

Die Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung stellt ein Hauptproblem bei der Erzeugung von Rapsölkraftstoff dar. Wie sich in Projektphase I [42] gezeigt hat, kann durch den konsequenten Einsatz von Sicherheitsfiltern die Gesamtverschmutzung deutlich verbessert werden. Aufbauend auf den Untersuchungen im Vorhaben „Reinigung kaltgepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen“ (BayStMLF N/00/18) [41] sollen Sicherheitsfilter auf ihre Praxistauglichkeit getestet werden. Teilziel ist es, Empfehlungen für Sicherheitsfilter für den Einsatz bei der dezentralen Ölgewinnung abzuleiten.

Die Schnelltestmethode zur Überprüfung der Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung, die sich im Praxisbetrieb in Projektphase I [42] nicht ausreichend bewährt hat, soll überarbeitet, beziehungsweise eine neue Testmethode entwickelt werden.

Für die Verbesserung der Markttransparenz hinsichtlich zuverlässiger Rapsölkraftstoffproduzenten für die Kunden soll den Herstellern und Anbietern von Rapsölkraftstoff eine unabhängige neutrale Beprobung, verbunden mit einer geeigneten Veröffentlichung der Analyseergebnisse im Internet, angeboten werden.

Schließlich sollen Qualitätssicherungsmaßnahmen für die Erzeugung von Rapsölkraftstoff aus den Ergebnissen des Vorhabens abgeleitet und in einer Handreichung sowie in einem EDV-gestützten Maßnahmenkatalog zusammengestellt werden.

3 Stand des Wissens

Die Technologie der zentralen und dezentralen Ölgewinnung und die dabei entstehende Ölqualität ist in der Literatur [5] [19] [25] [28] [32] [35] [40] [42] [58] ausführlich beschrieben. Einzelne verfahrenstechnische Maßnahmen wurden auf ihre Auswirkungen auf Kenngrößen von Rapsölkraftstoff näher untersucht. WIDMANN (1990) [53] und WIDMANN et al. (1992) [54] beschreiben verschiedene Einflussgrößen auf Kennwerte von Rapsölkraftstoff, unter anderem auch den der Rapssaat.

3.1 Qualität von Rapsölkraftstoff

Der RK-Qualitätsstandard 05/2000, der als freiwillige Vereinbarung über Qualitätsparameter und Grenzwerte für Rapsöl als Kraftstoff den Erzeugern und Käufern in den vergangenen Jahren zur Verfügung stand, wurde ab Juli 2006 durch die Vornorm DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren“ abgelöst. In dieser Vornorm ist die Qualität von Rapsölkraftstoff definiert.

Im Zeitraum Dezember 2002 bis Mai 2003 wurde im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) im Rahmen der Projektphase I [42] Rapsölkraftstoff aus 31 dezentralen Ölmühlen und ein Vollraffinat aus einer zentralen Ölmühle untersucht. Hierzu wurden insgesamt dreimal, beziehungsweise bei drei dezentralen Anlagen sechsmal, die Kennwerte Gesamtverschmutzung, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphor-, Asche-, Wasser-, Calcium-, Magnesiumgehalt, Peroxidzahl, Cetanzahl gemäß des RK-Qualitätsstandard 05/2000 und der Partikelgrößenverteilung analysiert. Von den beprobten Ölmühlen wurden sehr unterschiedliche Rapsölkraftstoffqualitäten erzeugt. 16 der beprobten Ölmühlen waren Lieferanten im „100-Traktoren-Demonstrationsvorhaben“ und sind bereits durch unzureichende Qualität aufgefallen. Nur vier der insgesamt 32 Ölgewinnungsanlagen haben bei allen Beprobungen die Grenzwerte der analysierten Kennwerte eingehalten. Weitere sechs Anlagen hatten ausschließlich bei der Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung Probleme. Bei fünf der untersuchten Anlagen wurden sehr große Mängel bei der Kraftstoffqualität nachgewiesen. Die meisten Probleme traten bei den Kennwerten Gesamtverschmutzung und Säurezahl auf. Kurzfristige Verbesserungen bei der Gesamtverschmutzung, innerhalb des Untersuchungszeitraumes, wurden durch den Einbau von zusätzlichen Sicherheitsfiltern erreicht. Die hohen Werte für den Kennwert Säurezahl wurden zum Teil durch die hohen Gehalte an freien Fettsäuren in der Rapssaat des Erntejahrs 2002 beeinflusst. Das Einhalten des Grenzwerts für den Phosphorgehalt führte bei den meisten Anlagen zu keinen Problemen. Das untersuchte Vollraffinat hatte, mit Ausnahme von Grenzwertüberschreitungen bei der Gesamtverschmutzung, sehr gute Kraftstoffqualität. [42]

Weitere Rapsölkraftstoffproben wurden im Rahmen des „100-Traktoren-Demonstrationsvorhabens“, ebenfalls gemäß des RK-Qualitätsstandards 05/2000, durch die Universität Rostock untersucht. Es wurden Proben von kaltgepressten Ölen und Vollraffinaten aus Lagertanks und Zapfhahnproben für diese Untersuchung eingesetzt, um eventuelle Qualitätsveränderungen bei Transport und Lagerung zu erfassen. Es zeigte sich, dass gehäuft Probleme bei den Kennwerten Gesamtverschmutzung, Phosphorgehalt, Säurezahl und Oxidationsstabilität auftraten. Grenzwertüberschreitungen der genannten Parameter traten insbesondere bei den sogenannten kaltgepressten Ölen auf. [47] [48] [22]

3.2 Untersuchungen zur Ölgewinnung

3.2.1 Einfluss der Rapsorten auf die Rapsölkraftstoffqualität

WIDMANN (1990) [53] und WIDMANN et al. (1992) [54] untersuchten den Einfluss von unterschiedlichen Winterrapsorten im Hinblick auf ihre Rapsölkraftstoffqualität. Es wurden hierzu sieben Rapsorten (00-Raps mit niedrigem Gehalt an Erucasäure und Glucosinolat), angebaut an vier bayerischen Standorten, in einer Laborölgewinnungsanlage verarbeitet und der Einfluss auf Kraftstoffkennwerte ermittelt. Die Fettsäuremuster der Rapsölkraftstoffe wurden dokumentiert. WIDMANN (1992) stellte fest, dass Rapsorte, Anbaustandort und Erntejahr signifikant Einfluss auf das Fettsäuremuster von Rapsöl nehmen. Es besteht jedoch kein nennenswerter Zusammenhang zu den Kraftstoffkennwerten. Laut WIDMANN (1992) ist davon auszugehen, dass Rapsöl im Hinblick auf Sorte, Herkunft und Erntejahr eine relativ gleichbleibende Kraftstoffqualität aufweist.

Ebenso untersuchten REMMELE (2002) [40] und REMMELE et al. (2000) [39] weitere Winter- und Sommerrapsorten. Um Zusammenhänge zwischen Qualität der Rapssaat und der Rapsölkraftstoffqualität ableiten zu können, wurden Eigenschaften, wie Saatzeitpunkt, Saatedichte, Pflanzenschutzmaßnahmen und Düngung der verarbeiteten Saat genau dokumentiert. Die gewonnenen Öle wurden auf die Kraftstoffkennwerte Iodzahl, Gesamtverschmutzung, Phosphorgehalt, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Wassergehalt, Aschegehalt, Schwefelgehalt und weitere untersucht. Tendenziell nimmt die Rapsorte Einfluss auf den Kennwert Oxidationsstabilität. Öle aus Winterrapsorten zeigen gegenüber Ölen aus Sommerraps beziehungsweise High-Oleic-Sommerraps eine geringere Oxidationsstabilität. Die Oxidationsstabilität nimmt mit gesteigerter Stickstoffdüngung ab. Für den Kennwert Säurezahl sind ebenfalls Veränderungen durch zusätzliche Behandlungen erkennbar. Bei den untersuchten Winterrapsorten mit den Behandlungsstufen mit und ohne zusätzlichen Pflanzenschutz und Blattdüngung besteht offensichtlich die Tendenz, dass sich eine zusätzliche Blattdüngung positiv auf die Ausreifung und somit auf den Gehalt an freien Fettsäuren auswirkt. Auch zeigt sich bei bestimmten Sorten, dass sich eine geringere Saatedichte günstig auf die Säurezahl auswirkt. Insgesamt weisen bei der Säurezahl Sommerrapsorten geringere Werte als Winterrapsorten auf.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden Vorversuche zu diesem Vorhaben zum Einfluss der Rapsorte und der Rapssaatqualität durchgeführt. DIETL (2004) [14] stellte Rapsöle aus unterschiedlichen Hybrid- und Liniensorten, die aus Landessortenversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Erntejahr 2003) zur Verfügung standen, her. Untersucht wurden unter anderem die Kennwerte Gesamtverschmutzung, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Wassergehalt, Aschegehalt, Schwefelgehalt, Calciumgehalt und Magnesiumgehalt. Es zeigte sich, dass die ausgewählten Rapsorten in keinem der genannten Kennwerte auffällige Abweichungen voneinander aufwiesen. Einzig beim Kennwert Oxidationsstabilität waren bei der hochölsäurehaltigen Sommerrapssorte Nex 160 sehr gute Werte erkennbar, die auf den erhöhten Anteil an Ölsäure (C 18:1) und die entsprechend niedrigere Iodzahl zurückzuführen sind.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einfluss der Rapsorte auf bestimmte Kraftstoffkennwerte, wie zum Beispiel die Oxidationsstabilität und Säurezahl erkennbar ist. Weitere Untersuchungen auf die Einflussnahme anderer Kennwerte sind erforderlich. Des Weiteren nimmt die Bestandesführung Einfluss auf die Ölqualität. Der Einfluss des Standortes und des Entjahres auf die Ölqualität sollte genauer untersucht werden.

3.2.2 Einfluss der Rapssaatbeschaffenheit auf die Rapsölkraftstoffqualität

Anteile an 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 [11]. 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. 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. Diese Beimengungen stellen potentielle Verderbherde dar. Es kommt laut EIMER (1998) [15] an diesen Stellen, begünstigt durch höhere Temperaturen, bald zu Umsetzungsprozessen. HUMPISCH (2002 und 2003) [23] [24], SKRIEGAN (1989) [50] sowie PAETKAU und LAPP (1973) [36] betonen, dass die Saat vor der Einlagerung gut vorzureinigen ist, da feuchtere Besatzanteile bis zu 100-mal mehr Mikroorganismen auf sich vereinigen können als das Rapskorn. Besatz kann biochemische Umwandlungsprozesse und Umsetzung der Fette in der Rapsschüttung beschleunigen. Es kommt zu unerwünschten Schimmelbildungen und enzymatischen Vorgängen in der Saat während der Lagerung. Unsachgemäße Lagerhaltung macht die Entwicklung der Mikroflora augenscheinlich und es kommt zu Schädigungen. Hefen und Pilze beeinflussen wesentlich die Länge der Lagerzeit, die Qualität des Lagergutes und folglich die Qualität des Rapsöls.

KOLLMANN (1991) [26] untersuchte an 00-Winterraps den Einfluss der Lagerung auf Massenverlust und Qualitätsveränderungen. Hierzu wurde ein Praxisversuch mit rund 1.800 t Rapssaat in verschiedenen Lagerstätten eingerichtet. Es standen 70 Gefäße mit Raps unterschiedlichen Feuch-

tigkeitsgehalts und Besatzanteils während 500 Tagen unter Beobachtung. Der Besatz wurde definiert als gewichtsmäßiger Anteil von artfremden Beimengungen wie Stengel- und Schotenteile, Steinchen und Unkrautsamen, festgestellt durch Verlesen nach üblicher Labormethode. Es zeigte sich, dass trockene, saubere und besatzarme Ölsaaten unter den gegebenen Lagerungsbedingungen nur wenig an Masse verlieren und der Gehalt an freien Fettsäuren gering bleibt (unter 2 % freier Fettsäuren im Rapsöl). Dagegen wirkt sich ein Besatzanteil von 6-7 % und ein Wassergehalt von 9 % negativ auf den Gehalt der freien Fettsäuren aus.

Untersuchungen zum Einfluss von unterschiedlichen Anteilen an Besatz auf Rapsölkraftstoffkennwerte wurden von DIETL (2004) [14] durchgeführt. Hierzu wurden Anteile von 1, 2 und 4 Masse-% Besatz, der zuvor mit Hilfe eines Laborreinigers aus der Rapssaat herausgereinigt worden war, wieder definiert zur Rapssaat (Sorte Talent, Erntejahr 2003) hinzugegeben. Die Saat wurde anschließend ohne weitere Lagerung sofort verarbeitet. Das hieraus gewonnene Öl wurde auf die Kennwerte Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Calciumgehalt und Magnesiumgehalt untersucht. Die Untersuchungen von DIETL (2004) [14] haben gezeigt, dass Besatzanteile bis 4 % und eine sofortige Verarbeitung der Rapssaat keinen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des erzeugten Rapsölkraftstoffs genommen haben.

Anteile an unreifer Saat

SCHEFFER und VON SCHWERIN (1999) [45] untersuchten frühzeitig geerntete und einsilierte Rapssaat. Aus dieser Saat gewonnenes Rapsöl wurde im Hinblick auf Kraftstoffkennwerte analysiert. Die vorgegebenen Grenzwerte der Prüfparameter konnten zumeist nicht eingehalten werden. Einzig die Grenzwerte für die Dichte bei 15 °C und die Iodzahl konnten eingehalten werden. Besonders auffällig waren die hohen Werte für Phosphor (180 mg/kg), Wasser (7,450 Masse-%) und Säurezahl (120,1 mg KOH/g). Die Werte lagen ein vielfaches über jenen, die in der Vornorm DIN V 51605 gefordert werden. Der Einsatz von siliertem, vorzeitig geerntetem Raps als Rohstoff für die Rapsölkraftstoffherstellung eignet sich folglich nicht.

MATTHÄUS et al. (2002) [31] beschreiben, dass es bei einer zu frühen Ernte, zu einer Erhöhung des Anteils an freien Fettsäuren in der Saat kommt. Der Ölgehalt nimmt in den letzten Tagen vor der optimalen Reife um 3 % 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 ein erhöhter Wert der Säurezahl im Öl zu finden. Weiter weisen unreife kleine Körner mit einem Durchmesser unter 1,5 mm niedrige Ölgehalte und erhöhte Chlorophyllgehalte (etwa 50 mg/kg) auf.

Anteile an Auswuchs

Auswuchsraps ist optisch an der geplatzen Samenschale und den mehr oder weniger großen Keimlingen zu erkennen. Wenn erntereife Rapssamen 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. Nach GROß (2002) [21]

ist der Ölgehalt in ausgewachsener Rapssaat im Vergleich zu intakter Saat somit geringer. Zusätzlich kommt es zum Anstieg der Anteile an freien Fettsäuren im Öl. Diese freien Fettsäuren sind sehr reaktionsfreudig und sollten entfernt werden, damit das Rapsöl stabil bleibt und nicht zum Beispiel durch Luftzutritt oxidiert. Prinzipiell sollten Auswuchspartien schnell verarbeitet werden, um den Anstieg der freien Fettsäuren zu verhindern. ATTENBERGER et al. (2005) [4] untersuchten den Einfluss von Auswuchs in der Saat von kaltgepressten Rapsspeiseölen. Es zeigte sich, dass es bereits nach einer Lagerdauer von vier Tagen zu einer starken Zunahme von freien Fettsäuren im gewonnenen Öl kommt. Der Anstieg der freien Fettsäuren erfolgt gemäß ATTENBERGER et al. (2005) exponentiell.

Untersuchungen zum Einfluss von Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an ausgewachsener Saat ohne weitere Zwischenlagerung auf die Qualität von Rapsölkraftstoff wurden von DIETL (2004) [14] durchgeführt. Hierzu wurde der Rapsölkraftstoff auf die Kennwerte Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Calciumgehalt und Magnesiumgehalt untersucht. Bei den genannten Kennwerten wurden keine Überschreitungen der geforderten Grenzwerte gemäß der Vornorm DIN V 51605 festgestellt.

Anteile an Bruchkorn

DIETL (2004) [14] untersuchte den Einfluss von Bruchkorn in Abstufungen von 0, 1, 4 und 9 Masse-% Bruchkornanteil auf die Rapsölqualität. Ein deutlicher Anstieg der Säurezahl sowie der Elementgehalte Phosphor, Calcium und Magnesium mit zunehmendem Anteil an Bruchkorn konnte festgestellt werden. Die Oxidationsstabilität hingegen wurde nur geringfügig gemindert. GROß (2002) [21] beschreibt, dass der Anteil an freien Fettsäuren bei mechanisch beschädigten Rapskörnern vergleichsweise höher ist.

Anteile an geschälter Saat

DIETL (2004) [14] ermittelte den Einfluss der Saatschälung auf die Säurezahl, die Oxidationsstabilität und die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl. Er variiert den Anteil geschälter Saat in den Stufen 0, 33, 66 und 100 Masse-%. Er stellt fest, dass mit steigendem Anteil geschälter Saat die Säurezahl, und auf geringem Niveau die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium, zunehmen sowie die Oxidationsstabilität abnimmt. RASEHORN et al. (2001) [38] ermittelten Vorteile für Rapsöl aus geschälter Saat bei den Parametern Wassergehalt, Phosphorgehalt und Gehalt an freien Fettsäuren im Vergleich zu Rapsöl aus ungeschälter Rapssaat. KOZLOWSKA [27] (1988) berichtet über eine deutlich erhöhte Säurezahl im Öl aus Rapssaatschalen im Vergleich zum Öl aus den Keimblättern der Rapssaat.

Saattrocknung

Nach GROß (2002) [21] erhöht sich der Anteil freier Fettsäuren durch zu heiße Trocknung der Rapssaat.

3.2.3 Einfluss der Pressenparameter auf die Rapsölkraftstoffqualität

WIDMANN (1994) [56] analysierte verfahrenstechnische Maßnahmen zur Minderung des Phosphorgehalts von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Die Auswirkung verschiedener Techniken zur Ölgewinnung in der Praxis auf die Qualität von Rapsöl sind bei WIDMANN (1998) [57], REMMELE et al. (2000) [39], REMMELE (2002) [40] und ATTENBERGER et al. (2005) [4] dokumentiert. Hierzu wurde Rapssaat mit einer Ölpresse vom Typ DD 85 G der Firma IBG Monforts Oekotec mit unterschiedlichen Presseneinstellungen verarbeitet. Bei ATTENBERGER et al. (2005) [4] wurden Rapsöle mit Schneckendrehzahlen von 20, 40, 70 und 95 min⁻¹ sowie mit Pressdüsen mit 6, 8 und 10 mm Durchmesser gewonnen. Die Presskopftemperatur wurde in den Stufen 60 °C und 90 °C variiert. Die gewonnenen Rapsöle wurden unter anderem auf die Kennwerte Phosphorgehalt, Säurezahl und Oxidationsstabilität untersucht. Ähnlich wie bei WIDMANN (1994) [56] zeigte sich, dass der Gehalt an Phosphor bei hoher Presskopftemperatur (90 °C), bei einer Schneckendrehzahl von 40 und von 95 Umdrehungen pro Minute und einer kleinen Pressdüse (6 mm) vergleichsweise höher liegt. Die Kennwerte Säurezahl und Oxidationsstabilität wurden durch die unterschiedlichen Varianten der Pressenparameter nur geringfügig beeinflusst.

3.3 Untersuchungen zur Endfiltration

Umfangreiche Untersuchungen zur Eignung von Filterapparaten für die Verwendung als Endfilter bei der Gewinnung von Rapsöl in dezentralen Anlagen wurden von REMMELE (2002) [41] durchgeführt. Es zeigte sich, dass in der Praxis häufig eingesetzte Beutelfilter den Anforderungen an Endfilter nicht genügen. Besser bewährt haben sich in den Untersuchungen Kerzenfilter vom Typ CW 001 A10 SC aus gewickelter Baumwolle des Herstellers Amafilter, das Tiefenfiltermodul B 27/54 des Herstellers Karberg & Hennemann sowie Filterschichten HS 6000, HS 2000 und HS 800 des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurden von GROPP (2004) [20] verschiedene Beutelfilter untersucht, mit denen jedoch keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden konnten. Mit den Tiefenfiltern Supradisc SD 700, SD 300 und SD 200 sowie XLDM151UFPPB Poly-Fine II Marksman des Herstellers Pall SeitzSchenk konnte die Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff gewährleistet werden.

3.4 Lagerung von Rapsölkraftstoff

Bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff muss darauf geachtet werden, Oxidation, Hydrolyse, Polymerisation und enzymatischen Abbau des Öls zu vermeiden. WIDMANN (1992) [54] untersuchte die Lagereigenschaften von kaltgepresstem Rapsöl, Rapsölvollraffinat, Rapsölmethylester und Mischungen bei insgesamt neun verschiedenen Ölvarianten. Hierzu wurden zwei unterschiedliche Tankmaterialien (Stahl und PE) und vier unterschiedliche Temperaturbedingungen bei der Lagerung (Erdtank 5 °C, unbeheizt, beheizt 20 °C und schattenlos) berücksichtigt. Bei den Varianten war die Möglichkeit des Sauerstoffaustausches gegeben; zusätzlich wurden aber auch luftdicht-verschlossene Proben gelagert. Der Lagerversuch wurde über einen Zeitraum von insgesamt 96 Wochen durchgeführt. Während der Lagerung wurden im achtwöchigen Turnus die Viskosität, die Peroxidzahl, die Säurezahl, der Tocopherolgehalt sowie Phosphor-, Schwefel- und Stickstoffgehalt analysiert. Zur Beschreibung der Kraftstoffqualität wurde die Dichte, die kinematische Viskosität, der Flammpunkt, der Cloudpoint, der CFPP-Wert, der Wassergehalt, der Schwefelgehalt und die Cetanzahl herangezogen. Es zeigte sich, dass während der gesamten Lagerzeit bei allen Varianten, außer „PE schattenlos“, es nur zu geringen Veränderungen der Säurezahl gekommen ist. Auch die Veränderung des Wassergehalts über den Lagerzeitraum war minimal. Einzig die Lagerbehälter aus PE wiesen zum Ende des Versuchs erhöhte Werte von bis zu 0,2240 Masse-% Wasser auf. Die Peroxidzahl, als Maß für den Gehalt des Öls an peroxidisch gebundenem Sauerstoff und somit der Ranzigkeit des Öls, bleibt bei den Varianten im Erdtank und unbeheizt niedrig. Dagegen stiegen die Werte bei den Varianten „schattenlos“ und „beheizt“, vor allem im PE-Lagertank, schnell an. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Temperatur und die Lichteinstrahlung Einfluss auf die Qualität nehmen und dass eine möglichst kühle, dunkle Lagerung, eventuell unter Sauerstoffabschluss anzustreben ist. Weitere Hinweise zur Lagerung von Rapsölkraftstoff werden von REMMELE (2005) [43] gegeben.

Umfangreiche Untersuchungen wurden zur Lagerstabilität von Biodiesel und Speiseölen durchgeführt. In der Literatur [6] [7] [8] [9] [10] [16] [18] [30] [34] [37] [46] [49] [52] sind vor allem die Entwicklungen der Kennwerte Oxidationsstabilität, Säurezahl, Peroxidzahl und Fettsäuremuster unter verschiedenen Lagerbedingungen beschrieben. Zusammenfassend ist für die Lagerung von Biodiesel zu beachten, dass der Ausschluss von Licht sowie (Luft-) Sauerstoff entscheidend für die Qualität ist. Ebenso wirken sich starke Temperaturschwankungen negativ auf die Kennwerte Säurezahl, Peroxidzahl und Oxidationsstabilität aus. Biodiesel sollte deshalb dunkel, kühl und möglichst ohne Kontakt mit (Luft-) Sauerstoff gelagert werden.

4 Methodisches Vorgehen

Für die Durchführung des Vorhabens kooperiert das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) mit anderen Forschungseinrichtungen und Analytiklabors. Zur Erreichung der Ziele wurden Ölmühlen beprobt, technologische Untersuchungen zur Produktion, Reinigung und Lagerung von Rapsölkraftstoff vorgenommen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff in einer Handreichung zusammengestellt.

4.1 Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen

Das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe arbeitete bei der Durchführung des Vorhabens mit folgenden Stellen zusammen:

Projektpartner:

- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg (Torsten Graf, Michael Conrad)
- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow (Dr. Wolfgang Schumann)
- Universität Rostock – Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren, Rostock (Dr. Ulrike Schümann)
- Analytik-Service Gesellschaft mbH, Täferlingen (Dr. Thomas Wilharm)

Kooperationspartner:

- Bundesverband Dezentraler Ölmühlen e.V.
- Bundesverband Pflanzenöle e.V.
- PetroLab GmbH Speyer

4.2 Beprobung von Rapsölkraftstoffproduzenten „Beprobung Qualitätssicherung“

Zur Erhebung der Qualität von Rapsölkraftstoff auf dem Markt wurden bundesweit 22 Ölmühlen beprobt. Die Auswahl der Ölmühlen für die „Beprobung Qualitätssicherung“ fand in Abstimmung mit den Projektpartnern statt. Zusätzlich zum Rapsölkraftstoff, wurde das Ausgangsprodukt Rapsaat und das Koppelprodukt Presskuchen auf relevante Kennwerte analysiert. Die ausgewählten Kennwerte für diese Untersuchungen und die Prüfverfahren sind in Kapitel 4.8 Analytik in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.

Im Zeitraum von März 2005 bis September 2006 wurden 22 dezentrale Ölmühlen insgesamt sieben mal durch das TFZ und die Projektpartner beprobt. 14 dieser Ölmühlen wurden bereits in der Projektphase I [42] beprobt und wurden für die zweite Phase wieder ausgewählt. Die genauen Probenahmezeiträume sind Tabelle 1 zu entnehmen.

14 der teilnehmenden Ölmühlen lieferten im gesamten Untersuchungszeitraum Kraftstoff für das „100-Traktoren-Demonstrationsvorhaben“, vier weitere Ölmühlen lieferten nur bis zum Jahr 2004. Die Standorte der Ölmühlen sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

Alle Anlagenbetreiber wurden zu Beginn des Vorhabens schriftlich über das Vorhaben informiert und um ihre Mitarbeit gebeten. Die Bereitschaft der Ölmühlenbetreiber für eine Teilnahme an der Beprobung war groß. Die Probenahmezeiträume wurden im Vorfeld angekündigt. Die genauen Probenahmetage wurden jeweils vorab dem Anlagenbetreiber mitgeteilt.

Tabelle 1: Probenahmezeiträume der „Beprobung Qualitätssicherung“

Probenahmezeiträume	
Beprobung 1	28.02. – 11.03.2005
Beprobung 2	06.05. – 17.05.2005
Beprobung 3	05.09. – 16.09.2005
Beprobung 4	28.11. – 09.12.2005
Beprobung 5	06.03. – 17.03.2006
Beprobung 6	06.06. – 16.06.2006
Beprobung 7	11.09. – 22.09.2006

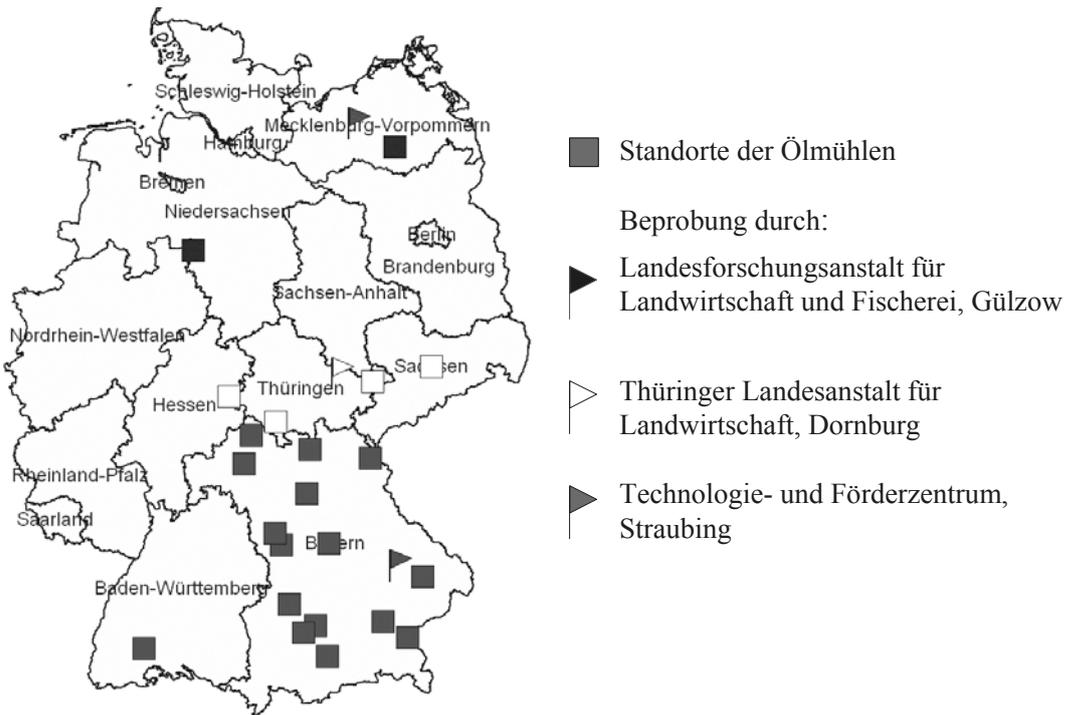


Abbildung 1: Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Qualitätssicherung“

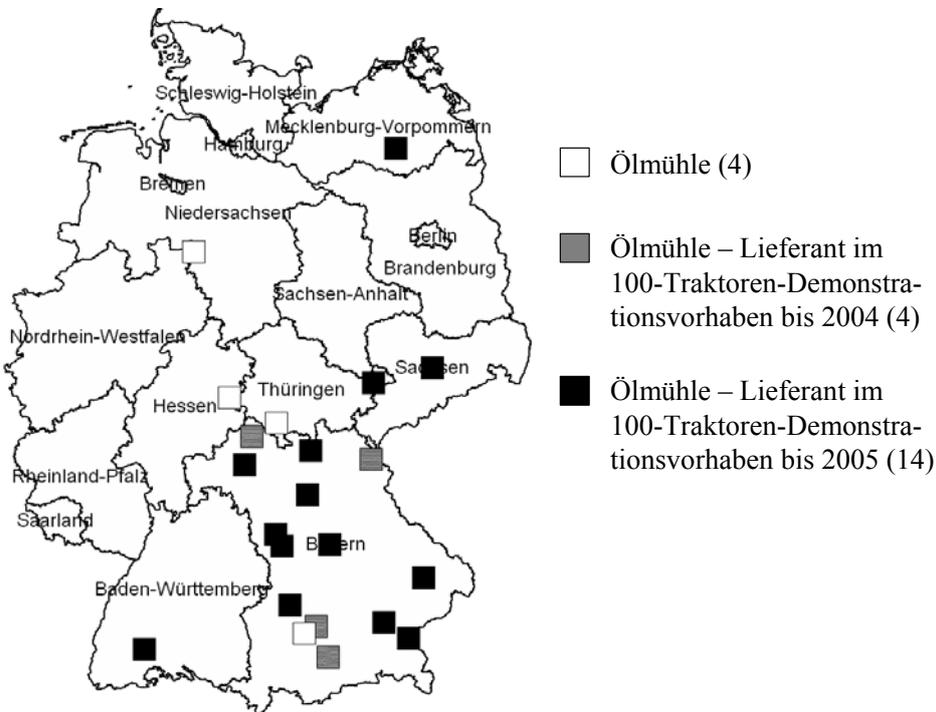


Abbildung 2: Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Qualitätssicherung“ - Auswahl nach Lieferanten im „100-Traktoren-Demonstrationsvorhaben“

Für die „Beprobung Qualitätssicherung“ wurden bei allen Ölgewinnungsanlagen Proben von der Rapssaat (RS), direkt aus der Saatzufuhr zur Presse, Presskuchen (PK), direkt am Presskuchenaustritt und Rapsölkraftstoff (RÖK) „zum Verkauf“ direkt aus der Zapfanlage beziehungsweise Abgabestelle für den Endverbraucher entnommen. War die Anlage zum Zeitpunkt der Probenahme nicht in Betrieb oder wenn keine Abgabestelle vorhanden war, wurden ersatzweise Proben aus dem Saat- beziehungsweise Presskuchenlager oder dem Lagertank entnommen. Die Vorgehensweise wurde im Probenahmeprotokoll vermerkt.

Die Betriebsbedingungen der Ölpresse lassen sich an Hand des erreichten Abpressgrads beschreiben. Der Abpressgrad (APG) ist definiert als prozentualer Anteil des gewonnenen Öls am Ölgehalt der Saat [55] und wird nach folgender Formel ¹ berechnet:

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

¹ SCHUMANN, W. (2003), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, mündliche Mitteilung

Die bevorzugten und alternativen Probenahmeorte sind in Abbildung 3 dargestellt. Eine detaillierte Anleitung für die Durchführung der Probenahme ist bereits in Projektphase I dokumentiert worden. [42]

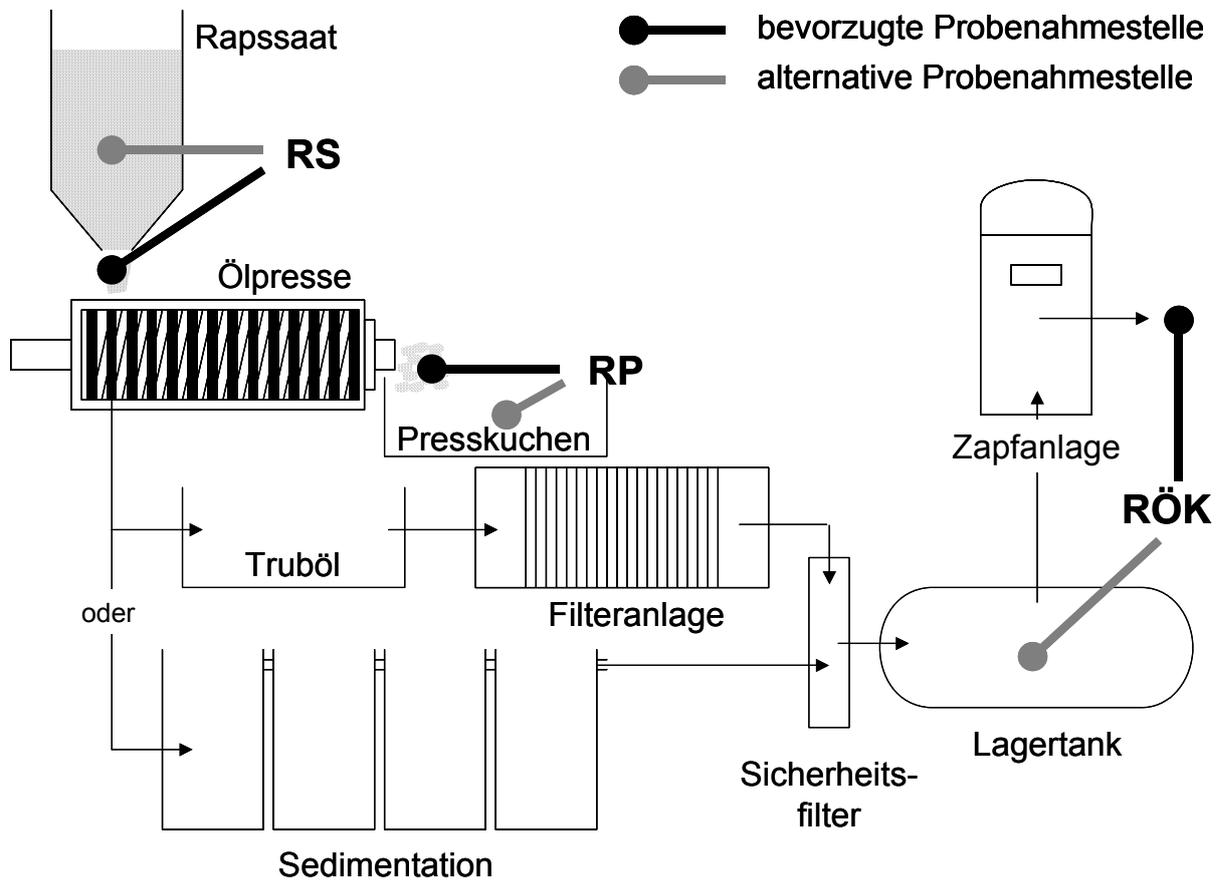


Abbildung 3: Probenahmestellen an den Ölgewinnungsanlagen

4.3 Beprobung von Rapsölkraftstoffproduzenten „Beprobung Markttransparenz“

Die rund 250 dem Technologie- und Förderzentrum bekannten Ölmühlenbetreiber wurden zu Beginn des Projektvorhabens angefragt, ob sie an der „Beprobung Markttransparenz“ teilnehmen möchten. Insgesamt 39 dezentrale Ölmühlen zeigten Interesse und haben der unangemeldeten Beprobung zugestimmt. Die Kosten für die Analysen des Rapsölkraftstoffs wurden vom Ölmühlenbetreiber selbst getragen. Die Kosten für die Beprobung (Personal-, Material-, Fahrt- und Versandkosten) wurden über das Forschungsvorhaben finanziert. Die Ergebnisse der Beprobungen wurden im Frühjahr 2006, ab Abschluss der dritten Beprobung, regelmäßig auf der Internetseite des Technologie- und Förderzentrums in anonymisierter Form dargestellt. Die Adressen der Teilnehmer, die die Kennwerte gemäß der Vornorm DIN V 51605 eingehalten haben, wurden veröffentlicht. Im Zeitraum von Juni 2005 und September 2006 wurden die dezentralen Ölmühlen insgesamt sechsmal durch das TFZ und die Projektpartner beprobt. 12 dieser Ölmühlen wurden auch bei der „Beprobung Qualitätssicherung“ beprobt. Die Standorte der beprobten Ölmühlen sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

Da es sich um eine unangekündigte Beprobung handeln sollte, wurde der genaue Probenahmetag erst einen Tag vorher dem Anlagenbetreiber mitgeteilt. Es sollte damit lediglich sichergestellt werden, dass ein Ansprechpartner vor Ort anwesend ist. Die genauen Probenahmezeiträume sind in Tabelle 2 dargestellt. Für die „Beprobung Markttransparenz“ wurden an den Ölgewinnungsanlagen Rapsölkraftstoffproben (RÖK) „zum Verkauf“ direkt aus der Zapfanlage, beziehungsweise Abgabestelle für den Endverbraucher, entnommen, siehe Abbildung 3. Zusätzlich wurde die Unterschrift des anwesenden Ölmühlenbetreibers erbeten, um das Technologie- und Förderzentrum zu bevollmächtigen, im Namen des Betreibers, dem ausgewählten Analyselabor PetroLab GmbH in Speyer, den Auftrag für die Analyse der Rapsölkraftstoffprobe zu erteilen.

Tabelle 2: Probenahmezeiträume der „Beprobung Markttransparenz“

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

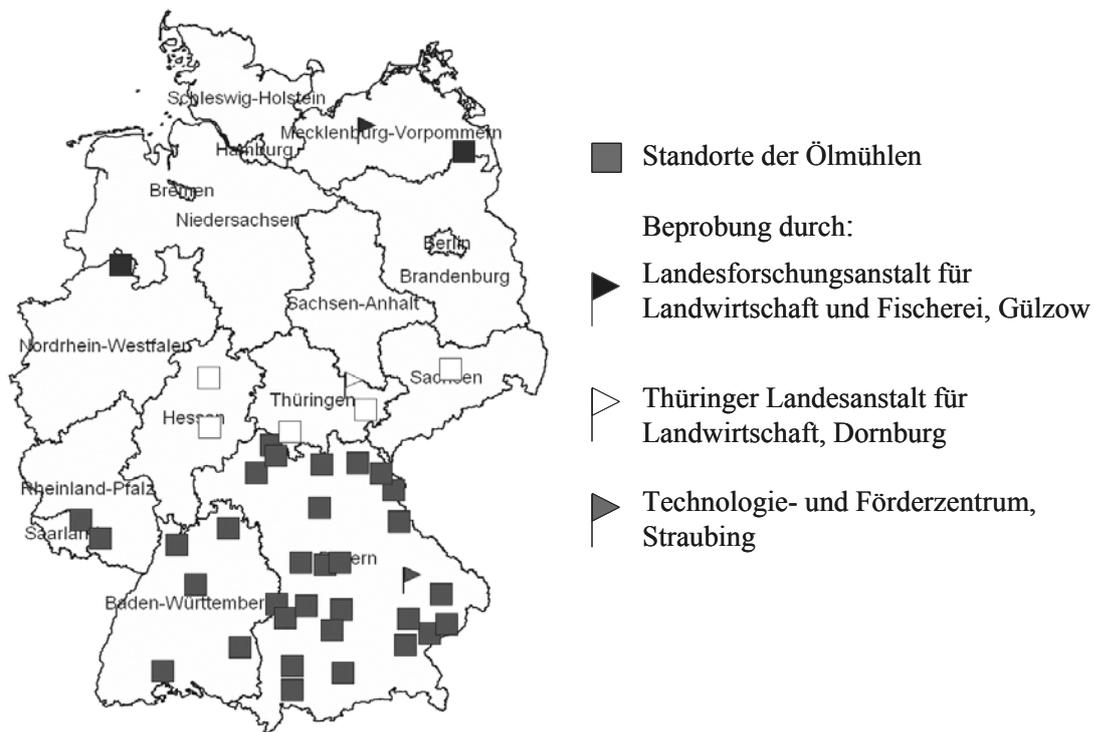


Abbildung 4: Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen „Beprobung Markttransparenz“

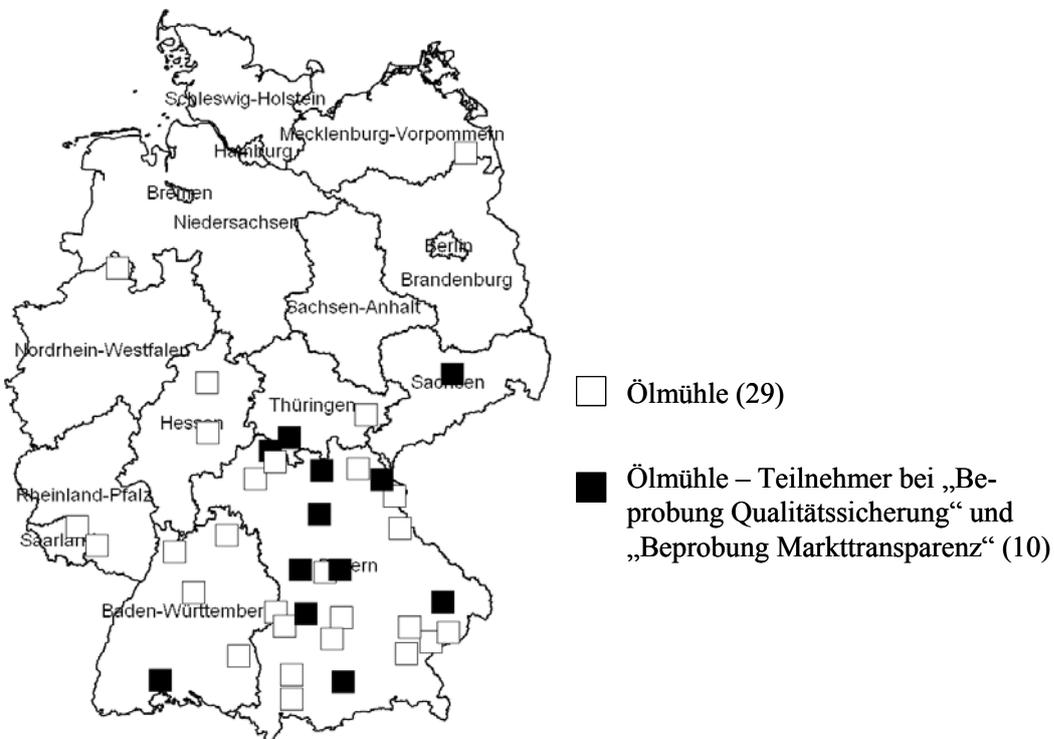


Abbildung 5: Standorte der beprobten Ölgewinnungsanlagen - Teilnahme „Beprobung Qualitätssicherung“ und Teilnahme „Beprobung Markttransparenz“

4.4 Einfluss der Rapssaat und des Verarbeitungsprozesses auf die Qualität von Rapsölkraftstoff

4.4.1 Einfluss der Rapsorte auf die Qualität von Rapsölkraftstoff

Die Untersuchungen zum Einfluss der Rapsorte auf die Qualität von Rapsölkraftstoff wurden an der Versuchsanlage des Technologie- und Förderzentrums durchgeführt. Hierzu wurden jeweils fünf verschiedene Winterrapssorten und zwei Sommerrapssorten der Erntejahre 2004 und 2005 zweier Herkünfte, nämlich aus den Landessortenversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) – Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Standort Oberhummel und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Standort Buttstedt, verwendet. In Tabelle 3 sind die untersuchten Rapsorten zusammengestellt. Die Kennwerte und die Prüfverfahren für die Untersuchung der Rapssaat, des gewonnenen Rapsölkraftstoffs und des Presskuchens sind in Kapitel 4.8 in Tabelle 9 und Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 3: *Rapsorten für die Untersuchungen zum Einfluss der Rapsorte auf die Rapsölkraftstoffqualität*

Herkunft und Erntejahr	Sorte		
	Winterraps		Sommerraps
	Hybridsorten	Linienorten	
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2004	Baldur Talent	Aviso Oase Express	Senator Nex 160
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 2004	Baldur Talent	Aviso Oase Express	
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2005	Baldur Titan Talent	Oase NK Fair	
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 2005	Baldur Titan Talent	Oase NK Fair	Senator Nex 160

4.4.2 Einfluss der Rapssaatqualität auf die Qualität von Rapsölkraftstoff

Die Untersuchungen zum Einfluss der Rapssaatqualität auf die Qualität von Rapsölkraftstoff wurden an der Versuchsanlage des Technologie- und Förderzentrums durchgeführt. Hierzu wurden verschiedene Einflussgrößen, wie Anteil Besatz, Anteil unreife Saat und Anteil Auswuchs sowie Saatschälung jeweils in vier Abstufungen untersucht. Eine Übersicht über die Versuchsvarianten der verschiedenen Einflussgrößen ist in Tabelle 4 dargestellt. Außerdem wurde Rapssaat untersucht, die unterschiedlichen Temperaturen bei der Saattrocknung (Trocknungsluft: Umgebungstemperatur, 40 °C und 80 °C) ausgesetzt war.

Tabelle 4: Varianten der Untersuchungen zum Einfluss der Rapssaatqualität

Variante	Verarbeitungszeitpunkt	Anteile			
		0 %	1 %	2 %	4 %
Besatz	ohne Lagerung	0 %	1 %	2 %	4 %
unreife Saat	ca. 10 Monate nach Ernte	0 %	30 %	50 %	70 %
Auswuchs	nach 3 Monaten Lagerung	0 %	5 %	10 %	15 %
Schälung	ohne Lagerung und nach 3 Monaten Lagerung	0 %	33 %	66 %	100 %

Für die Ölgewinnungsversuche wurde die Winterrapssorte Elektra (Ernte 2004), die bei der Finck'schen Agrargesellschaft, Gut Möschenfeld in Grasbrunn angebaut worden ist, verwendet. Die Saat wurde mit einem Wassergehalt von 7,9 Masse-%, einem Ölgehalt von 44,2 % und einer Säurezahl von 1,198 mg KOH/g am Technologie- und Förderzentrum eingelagert. Für die Versuche mit unterschiedlichem Anteil an unreifer Saat wurde die Winterrapssorte Oase der Ernte 2004 und 2005, angebaut von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), eingesetzt. Die Fettsäuremuster der Rapssorten Elektra und Oase sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Prüfergebnisse der Fettsäuremuster der Rapssorten Elektra und Oase (pr EN 14103)

		Sorte Elektra Anteil in Masse-%	Sorte Oase Anteil in Masse-%
Laurinsäure	C12:0	< 0,1	< 0,1
Myristinsäure	C14:0	0,1	0,1
Palmitinsäure	C16:0	4,4	4,4
Palmitoleinsäure	C16:1	0,2	0,2
Stearinsäure	C18:0	1,8	1,6
Ölsäure	C18:1	61,3	59,1
Linolsäure	C18:2	19,3	20,3
Linolensäure	C18:3	9,9	11,3
Arachinsäure	C20:0	0,7	0,6
Gadoleinsäure	C20:1	1,6	1,7
Behensäure	C22:0	0,5	0,4
Erucasäure	C22:1	0,4	0,3
Lignocerinsäure	C24:0	< 0,1	< 0,1
Nervensäure	C24:1	< 0,1	< 0,1

Einflussgröße Besatz

Um definierten Besatz zu erhalten, wurden mit Hilfe eines Steigsichters mit Siebwerk, Typ „Röber Mini-Petkus“ der Firma Sametec - Röber Saatguttechnik und Maschinenbau GmbH, Minden, aus ungereinigter Rapssaat einzelne Besatzgruppen fraktioniert. Der Steigsichter wurde auf mittlere Luftzufuhr eingestellt. Im Siebwerk befand sich ein Obersieb mit Rundloch von 2,5 mm und ein Untersieb mit Rundloch von 1 mm Durchmesser. Abbildung 6 zeigt den eingesetzten Steigsichter. Um den Einfluss von Besatz in der Saat auf die Qualität von Rapsölkraftstoff zu untersuchen, wurde Besatz in den drei Abstufungen 1, 2 und 4 Masse-% zugemischt und ohne Zwischenlagerung in der Versuchsanlage des Technologie- und Förderzentrums verarbeitet. Die zu analysierenden Kennwerte und die dazugehörigen Prüfverfahren, auf die die Rapssaat, der Presskuchen und das gewonnene Rapsöl untersucht wurden, sind in Kapitel 4.8, S. 63 in der Tabelle 9 und Tabelle 10 zusammengefasst.



Abbildung 6: Steigsichter „Röber Mini-Petkus“

Folgende Samen und andere Besatzbestandteile wurden in verschiedenen Anteilen aus der Rapsaat gereinigt: Samen von Klettenlabkraut, Flughafener, Ackerkratzdistel, Wicken, Mohn, verschiedene Getreidearten (Weizen, Gerste, Hafer), großblättriger Ampfer, Knöterich, Quecken, Erbsen, Ackersenf und Hederich sowie Stengelteile, Schoten beziehungsweise Schotenstücke, Sklerotien und tierische Bestandteile (Heupferd, Wanzen und Ohrwurm). Weiter waren in weitaus geringeren Mengen auch Rinde von Bäumen, Steine und kleinere Erdklumpen zu finden. Ein weiterer Teil bestand aus Schalentteilen und Bruchkorn. Die verschiedenen Besatzfraktionen nach der Reinigung mit Steigsichter, Obersieb und Untersieb sind in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Verschiedene Besatzfraktionen nach Reinigung (von links nach rechts: Steigsichter, Obersieb und Untersieb)

Einflussgröße unreife Saat

Um den Einfluss von Anteilen unreifer Saat auf die Qualität von Rapsölkraftstoff zu untersuchen, wurde Raps der Sorte Oase der Ernte 2004 und 2005 in vier verschiedenen Reifestadien geerntet. Die Reifestadien wurden unter Anwendung der BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien von Raps bestimmt [33]. Hierbei handelt es sich um das Entwicklungsstadium „Makrostadium 8 – Frucht und Samenreife“. Die genaue Codierung, Beschreibung und Erntezeitpunkte der Sorte Oase Ernte 2004 und 2005 können Tabelle 6 entnommen werden. In Kapitel 4.8, S. 63 sind die zu untersuchenden Kennwerte und Prüfverfahren der Rapssaat, des Rapspresskuchens und des Rapsöls aufgelistet.

Tabelle 6: *Codierung, Beschreibung und Erntezeitpunkte der Rapssaat Sorte Oase Ernte 2004 und 2005 nach der BBCH-Codierung [33]*

Code	Beschreibung	2004	2005
83	30 % der Samen ausgreift (Samen schwarz und hart)	23.07.	18.07.
85	50 % der Samen ausgereift (Samen schwarz und hart)	27.07.	20.07.
87	70 % der Samen ausgereift (Samen schwarz und hart)	29.07.	25.07.
89	Vollreif: fast alle Samen an der gesamten Pflanze schwarz und hart	03.08.	04.08.

Einflussgröße Auswuchs

Da zur Ernte kein Auswuchs bei der Rapssaat aufgetreten ist, wurde der Auswuchs künstlich erzeugt. Hierzu wurde auf einer Kunststoffolie ein Vlies ausgelegt und mit Regenwasser befeuchtet. Auf dem Vlies wurden ca. 30 kg Rapssaat flach ausgebreitet. Die Rapssaat wurde mit Regenwasser besprüht und mit einem weiteren befeuchteten Vlies abgedeckt. Durch die Feuchtigkeit und eine Lagertemperatur von ca. 20 °C wurde die Keimung der Rapssaat angeregt. Die Rapssaat wurde täglich kontrolliert und bei Bedarf wiederholt mit Regenwasser besprüht. Nach Sichtbarwerden der ersten Keimlinge wurde das Abdeckvlies abgenommen, um ein Verhaken der Keimlinge mit dem Vlies zu vermeiden. Im weiteren Verlauf wurde die Saat mit einer transparenten Kunststoffolie abgedeckt. Die Keimung der Saat wurde nach fünf Tagen durch Trocknung der Saat auf einen Wassergehalt von 7 Masse-% gestoppt. Der Anteil gekeimter Saat betrug ca. 95 %. Die Saat mit Auswuchs wurde bis zur Ölpressung drei Monate bei einer Temperatur von ca. 18 °C in einem Sack aus Bändchengewebe gelagert. Danach erfolgte die Zumischung der Rapssaat mit Auswuchs zur gesunden Rapssaat in Massenanteilen von 5, 10 und 15 Masse-%.

Einflussgröße Saatschälung

Die Schälung der Saat erfolgte mit einer Mühle Alpine UPZ 100 am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising. Die Mühle arbeitet nach dem Prinzip der Prallschälung, bei der die Rapssaat mit hoher Geschwindigkeit auf eine Prallwand trifft und dadurch sich die Saatschale öffnet. Mit dieser Vorgehensweise lässt sich ein Anteil von 95 % geschälter Körner erzielen. Im Anschluss wurden die Schalen vom Fruchtfleisch mit einem Steigsichter mit Siebwerk, Typ „Röber Mini-Petkus“ der Firma Sametec - Röber Saatguttechnik und Maschinenbau GmbH, Minden, getrennt. Das Fruchtfleisch wurde bis zur Verarbeitung drei Monate in einem Sack aus Bändchengewebe bei einer Temperatur von ca. 18 °C gelagert. In Anteilen von 33 Masse-% und 66 Masse-% wurde das Fruchtfleisch in die nichtgeschälte Rapssaat für die Ölgewinnungsversuche untergemischt.

Einflussgröße Trocknungstemperatur

An der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurde frisch geerntete Rapssaat mit drei unterschiedlichen Varianten auf eine Saatfeuchte von ca. 7 Masse-% Wasser getrocknet. Als Varianten wurde die Saat bis zum Erreichen des gewünschten Wassergehalts ausschließlich belüftet (Umgebungstemperatur) sowie mit einer Lufttemperatur von 40 °C und 80 °C getrocknet. Bis zur Verarbeitung wurde die Saat in einem Baumwollsack an einem gut belüfteten Ort bei ca. 18 °C gelagert.

4.4.3 Verarbeitung der Ölsaaten

Bei der Labor-Ölgewinnungsanlage des Technologie- und Förderzentrums, mit der die Untersuchungen durchgeführt wurden, handelt es sich um eine Doppelspindelpresse Typ Komet DD 85 G des Herstellers IBG Monforts Oekotec. Eine genau Beschreibung der Versuchsanlage und der verwendeten Messtechnik erfolgte bei WIDMANN (1994) [55] und ATTENBERGER et al. (2005) [4]. Die Verarbeitung aller Ölsaaten erfolgte bei einer Schneckendrehzahl von 40 min⁻¹, einer Presskopftemperatur von 60 °C und unter Verwendung einer 8 mm Pressdüse. Bei jeder Versuchsvariante wurde nach einer Einlaufphase der Ölpresse ein Liter Öl verworfen. Danach wurden zwei Liter Öl für die Untersuchungszwecke in Probeflaschen abgefüllt. Ein Liter Öl ist für die sofortige Analyse und ein weiterer Liter Öl als Rückstellprobe bestimmt. Die Proben wurden bis zum Versand bei einer Temperatur von 5 °C dunkel gelagert.

4.4.4 Standardisierte Laborreinigung der Öle

Die standardisierte Reinigung der kaltgepressten Rapsöle im Labormaßstab erfolgte durch Vakuum-Membranfiltration. Der Aufbau der Apparate ist bei ATTENBERGER et al. [4] detailliert beschrieben. Verwendet wurde eine Filternutsche mit einem Durchmesser von 240 mm und einem Fassungsvermögen von 4 l. Als Filtermittel wurden Rundfilter Typ 0860 der Firma Schleicher & Schuell Micro Science GmbH, mit einem Rückhaltevermögen für Partikel eine Größe von 7-12 μm , eingesetzt. Der Unterdruck wurde mit einer Vakuumpumpe KNF Neuberger Laboport erzeugt, die an eine Saugflasche mit 5 l Volumen angeschlossen wurde. Eine Gesamtverschmutzung im Öl von unter 24 mg/kg nach DIN EN 12662 war mit dieser Vorgehensweise erreichbar. Abbildung 8 zeigt den Aufbau der Labor-Filtereinheit.

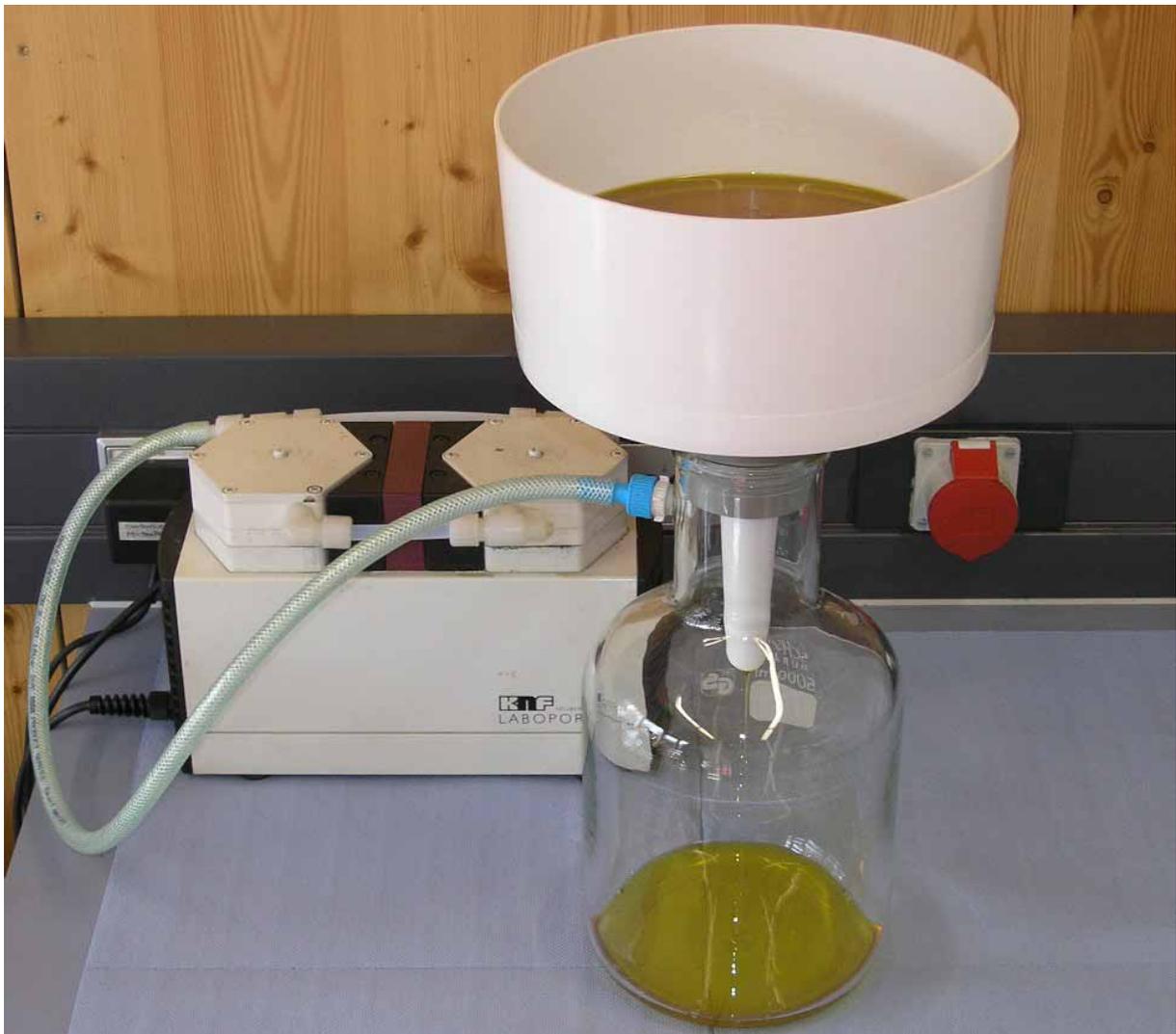


Abbildung 8: Standardisierte Laborreinigung

4.4.5 Einfluss der Prozessparameter bei der Ölpresung

Um die in Kapitel 3.2.3, S. 32 beschriebenen Einflüsse der Prozessparameter bei der Ölpresung auf die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium zu überprüfen, wurden von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft an zwei Praxis-Ölmühlen A und B Versuche zur Ölgewinnung durchgeführt. Für die Versuche wird bei den Ölmühlen vorrätige Rapssaat eingesetzt. In Ölmühle A wurde die Saat mit einer Ölpresse Typ AP 15/37 (Verarbeitungskapazität ca. 1.000 kg Saat pro Stunde) des Herstellers Reinartz und in Ölmühle B mit einer Ölpresse Typ AP 12 (Verarbeitungskapazität ca. 200 kg Saat pro Stunde) des Hersteller Reinartz verarbeitet. Bei beiden Ölpresentypen handelt es sich um Seiherstab-Schneckenpressen. Variiert wurde in den Untersuchungen die Schneckendrehzahl. Die erzeugten Öle wurden mit einer standardisierten Ölreinigung, wie in Kapitel 4.4.4, S. 49 beschrieben, gereinigt. Zielgrößen sind der Abpressgrad und die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl. Die Ölanalysen wurden mit den in Tabelle 10, S. 64 genannten Prüfverfahren durchgeführt.

4.5 Endfiltration von Rapsölkraftstoff

Verschiedene Filterapparate und Filtermittel sollten auf ihre Eignung zur Verwendung als Endfilter oder Sicherheitsfilter („Polizeifilter“) bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen untersucht werden. Die Versuchsdurchführung ist ähnlich der von REMMELE (2002) [41] beschriebenen Vorgehensweise, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicher zu stellen.

Je Versuchsvariante wurden ca. 200 kg Rapsöl gefiltert. Der Flüssigkeitsdruck und die Massen des Trüböls und des Reinöls wurden während des Versuchszeitraums mit einer Online-Datenerfassung dokumentiert. In regelmäßigen Abständen wurden während des Filtrationsverlaufs Proben zur Analyse entnommen und ausgewählte Proben auf die Zielgrößen analysiert.

Als Zielgrößen für die Beurteilung der Funktionalität der Filter wurden die Gesamtverschmutzung nach DIN EN 12662 und die Partikelgrößenverteilung herangezogen. Aufgrund der geringen Wiederholbarkeit der Prüfmethode DIN EN 12662 wurde eine Dreifach-Bestimmung durchgeführt um Ausreißer bei den Analysenergebnissen einfacher erkennen zu können. In der Auswertung wurden um Ausreißer bereinigte Mittelwerte berücksichtigt.

Die Partikelgrößenverteilung in Rapsölkraftstoff wurde durch Laserbeugungsspektroskopie ermittelt. Hierzu wurde ein Messgerät Typ Helos KF des Herstellers Sympatec eingesetzt. Das am Technologie- und Förderzentrum entwickelte Prüfverfahren ist bei REMMELE (2002) [41] dokumentiert. Bei der Laserbeugungsspektroskopie dient als Lichtquelle ein Laser, dessen Strahl aufgeweitet wird. Dieser Strahl durchscheint eine Messküvette, die von der zu messenden Suspension durchströmt wird. Der Laserstrahl wird an den Partikeln, abhängig von deren Größe, unterschiedlich stark gebeugt. Der Anteil Fraunhoferscher Beugungsspektren wird mit Hilfe einer Sammellinse auf einen Multielement-Photodetektor abgebildet. Der Multielement-Photodetektor ist im Brennpunkt der Linse angeordnet. Durch die vorliegende Partikelgrößenverteilung in der Suspension wird auf dem Detektor eine radialsymmetrische Intensitätsverteilung abgebildet. Die Ener-

gedichte dieses Beugungsbildes nimmt mit der Entfernung vom Zentrum ab; dessen Verlauf wird von der Anzahl und Größe der erfassten Partikel bestimmt. Der Multielement-Photodetektor ist aus drei Zentrierungselementen und 31 halbkreisförmigen Ringen aufgebaut. Die Zentrierungselemente dienen unter anderem der Justierung des Detektors, die halbkreisförmigen Ringe zur Aufnahme der Intensitätsverteilung. Die Messsignale werden mit Hilfe eines mathematischen Algorithmus in eine Partikelgrößenverteilung umgerechnet. Als Maß für die Partikelgröße gilt der Durchmesser einer Kugel, die den gleichen Laserbeugungseffekt verursacht, wie das gemessene Partikel. Dieser Rückschluss auf einen Äquivalentdurchmesser ist auch bei anderen Verfahren zur Ermittlung von Partikelgrößenverteilungen üblich und notwendig. Für die Messungen an Rapsöl wird das Dispergiersystem „Sucell“ eingesetzt. Die vom Gerätehersteller vorgesehene Messmethode, bei der Trägerflüssigkeit und Partikel vor der Messung getrennt vorliegen, muss für Rapsöl, in dem ja bereits Partikel suspendiert sind, abgeändert werden. Die Referenzmessung erfolgt deshalb an einem Rapsöl („Referenzöl“), das über eine Membran mit einer Porosität von $0,2\ \mu\text{m}$ gefiltert wurde und deshalb als weitestgehend partikelfrei gilt. In dieses Referenzöl wird anschließend Trüböl zugemischt und die Messung durchgeführt. Bei Rapsölproben nach der Sicherheitsfiltration, die nur geringe Partikelkonzentrationen aufweisen, wird die Probe direkt ohne Verdünnung gemessen. Ist die Partikelkonzentration in dem zu messenden Öl („optische Konzentration“) zu gering, kann keine Partikelgrößenanalyse durchgeführt werden. Die Messung des Rapsöls erfolgt in einem Messbereich zwischen $0,5$ und $175\ \mu\text{m}$. Die Messdauer beträgt eine Minute; insgesamt werden pro Probe mindestens fünf Messungen durchgeführt und statistisch ausgewertet. Aus den auswertbaren Messergebnissen werden arithmetische Mittelwerte gebildet. Zugunsten einer anschaulichen Darstellung der Partikelgrößenverteilung werden die Messergebnisse auf die Nennung des 10-, 50- und 90-prozentigen Durchgangs reduziert. Dargestellt werden der x_{10} -, x_{50} - und x_{90} -Wert. Die Werte bezeichnen den 10-, 50- und 90-prozentigen Anteil (Durchgang) kleiner einer Partikelgröße (angegeben in μm) einer Summenverteilung.

Bei der Auswahl der Filterapparate und Filtermittel wurden der Stand der Technik in dezentralen Ölmühlen und die Empfehlungen der Filterhersteller berücksichtigt. Unter den gegebenen Voraussetzungen wurden folgende Filter für die Untersuchungen ausgewählt:

Beutelfilter

Beutelfilter werden in vielen dezentralen Ölmühlen zur Endfiltration eingesetzt. Häufig werden jedoch mit den verwendeten Filtermitteln die Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 bezüglich der Gesamtverschmutzung nicht erreicht. Da Beutelfiltergehäuse des Herstellers Amafilter, wie in Abbildung 9 gezeigt, häufig bei dezentralen Ölmühlen zur Verfügung stehen, sollen für diese Filtergehäuse mehrlagige Beutelfilter neuer Generation untersucht werden. Die technischen Daten der Beutelfilter zeigen Abbildung 10 und Abbildung 11. Für die Untersuchungen wird außerdem ein Beutelfilter des Herstellers Filtertechnik Jäger ausgewählt, der dieses Produkt speziell für den Einsatz bei der dezentralen Ölgewinnung auslobt. Das Filtergehäuse und der Beutelfilter sowie technische Daten sind in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt.



Beutelfiltergehäuse

Modell:	CE98007128
Typ:	AF1 – 90T –2“
Filtereinsatz:	Filterbeutel
Durchmesser:	219 mm
Gerätehöhe:	535 mm (ohne Fuß)
Behälterinhalt:	27 l
Gewicht:	35 kg
max. Temp.:	90 °C bei Dauerbetrieb
max. Betriebsdruck:	2,5 bar bei Flüssigkeiten
Druck max.:	10 bar

Abbildung 9: Filtergehäuse für Beutelfilter des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)



Beutelfilter - mehrlagig

Typ:	HPM 95-01-1-1 SS
Filtermaterial:	Polypropylen (Hi-Pro Micro)
Filterfeinheit:	1 µm
Druckdifferenz max.:	3 bar
Temperatur max.:	95 °C
Länge:	420 mm
Durchmesser:	180 mm

Abbildung 10: Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)

Beutelfilter – dreilagig kalandriert

Typ:	AP 1/1/1S-1S
Filtermaterial:	Polyester
Filterfeinheit:	1 µm
Druckdifferenz max.:	3 bar
Temperatur max.:	120 °C
Länge:	420 mm
Durchmesser:	180 mm

Abbildung 11: Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)

Beutelfiltergehäuse

Modell:	SIN 05 D 19254
Typ:	2 BGK DN 50
Filtereinsatz:	Filterbeutel
Durchmesser:	230 mm
Gerätehöhe:	1000 mm (ohne Fuß)
Gewicht:	30,5 kg
max. Temp.:	120 °C bzw. 30 °C
max. Betriebsdruck:	10 bar bzw. 15 bar

Abbildung 12: Filtergehäuse für Beutelfilter des Herstellers Filtertechnik Jäger (Herstellerangaben)



Beutelfilter Mikrofaser - mehrlagig

Typ:	2-AXL-1 µm
Filtermaterial:	Polypropylen
Filterfeinheit:	1 µm
Filterfläche:	3 m ²
Druckdifferenz max.:	1,5 bar bei Rapsöl
Temperatur max.:	90 °C
Länge:	780 mm
Durchmesser:	180 mm

Beutelfilter Nadelfilz

Typ:	2-PES-1 µm/P
Filtermaterial:	Polyester
Filterfeinheit:	1 µm
Filterfläche:	0,48 m ²
Druckdifferenz max.:	1,8 bar bei Rapsöl
Temperatur max.:	150 °C
Länge:	780 mm
Durchmesser:	180 mm

Abbildung 13: Beutelfilter 2-AXL-1 µm und 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filbertechnik Jäger (Herstellerangaben)

Kerzenfilter

Mit Kerzenfiltern aus gewickelter Baumwolle wurden bei zurückliegenden Untersuchungen zur Filtration von Rapsölkraftstoff gute Ergebnisse erzielt. Passend zum Kerzenfiltergehäuse, wie in Abbildung 14 gezeigt, sollen drei neu entwickelte Kerzenfilter des Herstellers Amafilter untersucht werden. Die technischen Daten und Bilder der Filterkerzen sind in Abbildung 15 zusammengestellt. Auch ein neues Produkt der Firma Filbertechnik Jäger, wird in die Untersuchungen miteinbezogen. Filtergehäuse und Filterkerze zeigen Abbildung 16 und Abbildung 17.



Kerzenfiltergehäuse

Modell:	T 910064-246
Typ:	AFL - 10S - ¾"
Filtereinsatz:	Filterkerze
Durchmesser:	110 mm
Gerätehöhe:	330 mm
max. Temp.:	90 °C
max. Betriebsdruck:	17,5 bar

Abbildung 14: Kerzenfiltergehäuse T 910064-246 des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)



Glasfaserfilterkerze

Typ: GP 0,45-10U-X4N
 Filtermaterial: plissierte Glasfaser
 Filterfeinheit: 0,45 µm
 Druckdifferenz max.
 & Temperatur max.: 5,1 bar bei 20 °C
 2,8 bar bei 65 °C
 Länge: 254 mm (10")

Economische plissierte Polypropylen Filterkerze

Typ: EP 001-10-U-X4N
 Filtermaterial: Polypropylen
 Filterfeinheit: 1 µm
 Druckdifferenz max.
 & Temperatur max.: 5,1 bar bei 20 °C
 2,8 bar bei 65 °C
 Länge: 254 mm (10")

Schmelzgeblasene Tiefenfilterkerze

Typ: ES 001-0-U-X0
 Filtermaterial: Polypropylen
 Filterfeinheit: 1 µm
 Druckdifferenz max.
 & Temperatur max.: 1 bar bei 82 °C
 2,1 bar bei 66 °C
 4,1 bar bei 30 °C
 Länge: 254 mm (10")

Abbildung 15: Filterkerzen des Herstellers Amafilter (Herstellerangaben)



Kerzenfiltergehäuse

Typ: EKF-PP-10"/SM-¾"
 Filtereinsatz: Kerzenfilter
 Durchmesser: 130 mm
 Gerätehöhe: 305 mm
 Gewicht: 1,35 kg
 Behälterinhalt: 1,28 l
 max. Temp.: 52 °C
 max. Betriebsdruck: 8,6 bar

Abbildung 16: Kerzenfiltergehäuse EKF-PP-10"/SM-¾" des Herstellers Filtertechnik Jäger (Herstellerangaben)



Kerzenfilter

Typ:	NT-1 μm -9 $\frac{3}{4}$ " Nominale Filterkerze
Filtermaterial:	Polypropylen ohne Stützkern
Filterfeinheit:	1 μm
Druckdifferenz max.:	1,8 bar bei Rapsöl
Temperatur max.:	80 °C
Länge:	248 mm (9 $\frac{3}{4}$ "
Durchmesser außen:	64 mm
Durchmesser innen:	25,4 mm

Abbildung 17: Filterkerze NT-1 μm -9 $\frac{3}{4}$ " des Herstellers Filtertechnik Jäger (Herstellerangaben)

Tiefenfilter

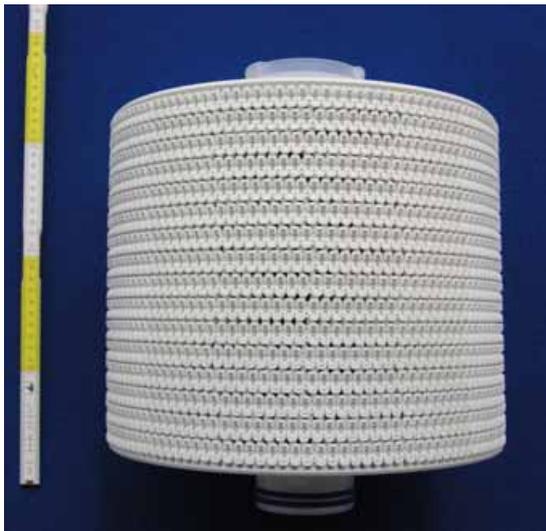
Tiefenfilter des Herstellers Pall SeitzSchenk werden bereits erfolgreich als Polierfilter bei der Herstellung kaltgepresster Speiseölspezialitäten eingesetzt. Für die Filtration von Rapsölkraftstoff wurden drei Module SUPRADisc für die Verwendung im VELAdisc-Filtergehäuse getestet. Die technischen Daten im Überblick zeigen Abbildung 18 und Abbildung 19.



Filtergehäuse Tiefenfilter

Modell:	VELAdisc B
Typ:	B284-01C88DN040
Filtereinsatz:	Modul SUPRADisc
Durchmesser:	304 mm
Anschlusshöhe:	460 +/- 50 mm
Gerätehöhe:	1000 +/- 50 mm
max. Ausbauhöhe:	1320 mm
Behälterinhalt:	27 l
Gewicht:	31 kg
max. Temp.:	85 °C bei Dauerbetrieb
max. Betriebsdruck:	8 bar bei Flüssigkeiten

Abbildung 18: Filtergehäuse VELAdisc B für Tiefenfiltermodule SUPRADisc des Herstellers Pall SeitzSchenk



Tiefenfiltermodul

Durchmesser	284 mm
Höhe:	540 mm
Betriebsdruck max.:	2,5 bar
Oberfläche:	1,6 m ²
Betriebstemperatur max.:	121 °C
Typ: SUPRAdisc SD K300	Filterfeinheit: 5-12 µm
Typ: SUPRAdisc SD K700	Filterfeinheit: 6-15 µm
Typ: SUPRAdisc SDT II T500	Filterfeinheit: 7-8 µm

Abbildung 19: Filtermodule SUPRAdisc für Filtergehäuse VELAdisc B des Herstellers Pall SeitzSchenk

Da die Standzeiten der Filter sehr stark abhängig sind von der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl und die Eigenschaften des Trüböls in dezentralen Ölmühlen erfahrungsgemäß sehr stark variieren, kann anhand der durchgeführten Untersuchungen keine Abschätzung der Standzeiten der Filter erfolgen.

4.6 Schnelltest Gesamtverschmutzung

Vom Technologie- und Förderzentrum wurde ein Schnelltest [39] zur Überprüfung der Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung entwickelt. Bei der Anwendung dieses Schnelltests durch Ölmühlenbetreiber traten jedoch immer wieder Probleme bei der Handhabung und bei der Einschätzung der Ergebnisse auf [42].

Am Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock wird dieser Schnelltest erneut geprüft, gegebenenfalls überarbeitet und optimiert. Im Vorhaben werden außerdem zwei verschiedene Sensorprinzipien untersucht, die eine sichere Detektion eines unzulässig hohen Verschmutzungsgrades von Rapsölproben ermöglichen sollen. Ziel ist es sicherzustellen, dass eine Anwendung auch für nicht geschultes Personal unter „Nicht-Laborbedingungen“, also bei schwankenden Temperaturen, unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen und unabhängig von speziellen Medien wie Wasser, Druckluft usw., möglich ist. Eine Anwendbarkeit vor Ort und eine schnelle Verfügbarkeit der Ergebnisse werden als weitere Anforderungen definiert.

4.7 Lagerung von Rapsölkraftstoff

Für den Lagerungsversuch wurden vier unterschiedliche Rapsölkraftstoffe und drei unterschiedliche Lagerbehälter beziehungsweise -materialien eingesetzt, zusätzlich wurden Klimaeinflüsse, wie Temperatur und Strahlung und als weitere Variante der Gasaustausch in drei Abstufungen im Versuchsaufbau berücksichtigt. Insgesamt wurden 108 verschiedene Varianten eingelagert. Die Varianten des Lagerungsversuchs sind in Abbildung 20 dargestellt. Im Abstand von je drei Monaten wurden von allen Lagerungsvarianten Proben entnommen und auf ausgewählte Kennwerte, siehe Kapitel 4.8, S. 63 untersucht. Die Prüfverfahren der Kennwerte sind in Tabelle 10 dargestellt.

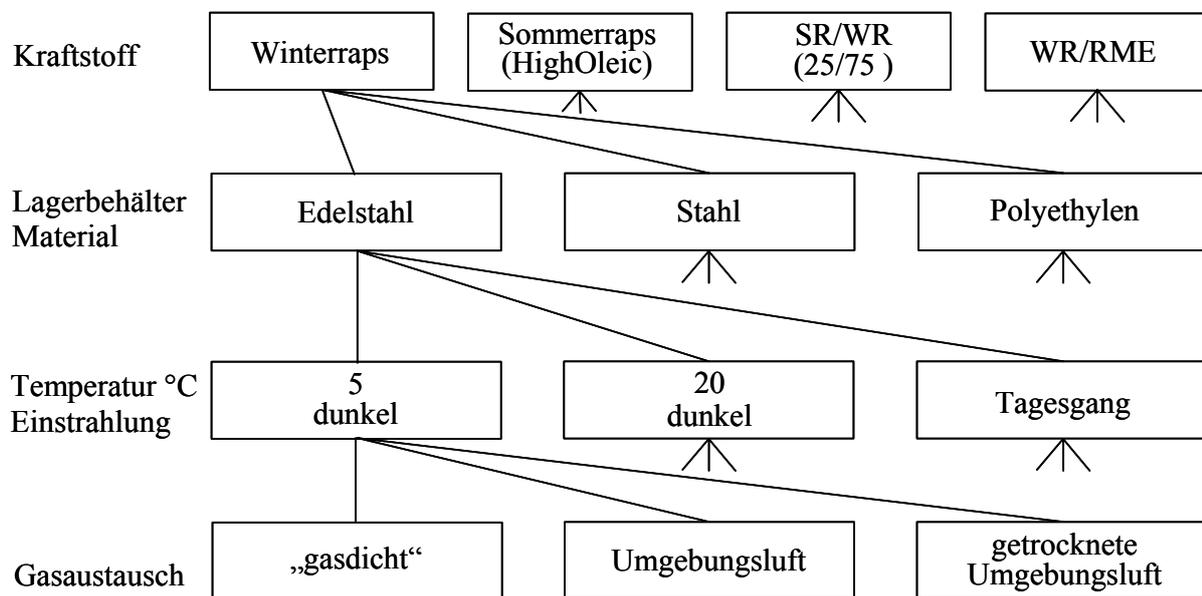


Abbildung 20: Varianten des Lagerungsversuchs

4.7.1 Aufbau des Lagerungsversuchs

Kraftstoffe

Als Kraftstoffe wurden folgende Varianten verwendet: Rapsölkraftstoff aus Winterraps, Rapsölkraftstoff aus hochölsäurehaltigem (High-Oleic) Sommerraps, eine Mischung aus hochölsäurehaltigem Sommer- und Winterrapsöl mit einem Mischungsverhältnis von 25 Masse-% hochölsäurehaltigem Sommerrapsöl und 75 Masse-% Winterrapsöl und schließlich Winterrapsöl vergällt mit 2,9 Masse-% Rapsmethylester. Der Kraftstoff aus Winterraps wurde bei der Ölmühle AgroService Pflanzenöl GmbH, Osterhofen zugekauft. Der Rapsölkraftstoff aus dem hochölsäurehaltigen Sommerraps wurde in der Versuchsanlage zur Ölsaatenverarbeitung am Technologie- und Förderzentrum aus der Sorte Nex 160 gewonnen und gereinigt. Bei dem Rapsölmethylester handelt es sich um Tankstellenware nach AGQM-Qualität (AGQM Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.). Bei allen Ausgangsölen und dem Rapsölmethylester wurden die Parameter Gesamtverschmutzung, Oxidationsstabilität, Wassergehalt und Säurezahl, bei Rapsölmethylester zusätzlich der Cold Filter Plugging Point (CFPP) bestimmt. Die Analysewerte sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Die Mischungen wurden mit Hilfe einer Plattformwaage des Herstellers PESA, Typ B5, maximale Belastung bis 1.200 kg und Auflösung 20 g, hergestellt und in die jeweiligen Lagergefäße abgefüllt.

Tabelle 7: Analysewerte der Ausgangsöle des Lagerungsversuchs

Kennwerte	Eigenschaften der Kraftstoffvarianten				
	Rapsöl aus Winterraps	Rapsöl aus Winterraps vergällt mit RME	Rapsöl aus High-Oleic Sommerraps	Rapsöl aus Winterraps/ Rapsöl aus High-Oleic Sommerraps	Rapsölmethylester RME
Gesamtverschmutzung in mg/kg	16	-	16	24	7
Säurezahl in mg KOH/g	0,80	0,80	0,90	0,74	0,48
Oxidationsstabilität in h	7,9	8,8	17,3	9,3	8,8
Wassergehalt in Masse-%	0,0498	0,0495	0,0378	0,0537	0,0249
Cold Filter Plugging Point (CFPP) in °C	-	-	-	-	-20

Lagerbehälter / Material

Als Lagerbehälter wurden Gefäße aus den Materialien Stahl, Edelstahl und Polyethylen gewählt. Für die Variante „Edelstahl“ wurden aus Kostengründen sogenannte „Gastronormbehälter“, eingesetzt. Die Behälter mit einem Fassungsvermögen von 9,5 Litern bestehen aus 18/8-18/10 Edelstahl. Der Deckel ist mit einer umlaufenden Gummidichtung ausgestattet. Eine im Deckel befindliche Entlüftungsöffnung, zur Vermeidung von Unterdruck bei Abkühlung des Inhalts, wurde zugeschweißt. Die für die Variante „Stahl“ verwendeten Stahlblech-Hobbocks wurden von der Firma Bayernfass bezogen. Sie haben ein Fassungsvermögen von 12 Litern, sind innen unbehandelt und besitzen einen Sickendeckel mit Spanschelle als Verschluss. Für die Variante „Polyethylen“ wurden 10 Liter PE-Behälter verwendet. Die Behälter bestehen aus ungefärbtem (durchscheinendem) High-Density-Polyethylen (HDPE) und besitzen eine 120 mm kreisrunde Befüllöffnung mit Schraubverschluss.

Temperatur / Einstrahlung

Zur Variation der Klimaeinflüsse wurden verschiedene Lagerungsbedingungen gewählt. Die Variante „Tagesgang“ soll den Einfluss der Temperatur und der Einstrahlung bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff im Freien abbilden. Die Variante „dunkel 20 °C“ soll die Lagerungsbedingungen in einem Gebäude widerspiegeln. Mit einer Lagerung „dunkel 5 °C“ werden die Lagerungsbedingungen in einem Erdtank simuliert.

Die Lagergebinde der Variante „Tagesgang“ wurden im Freien mit süd-westlicher Ausrichtung aufgestellt. Die Proben waren so den natürlichen Temperatur-, Licht- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen unterworfen. Mit einem Datalogger (Testo 175-H2), der über einen internen NTC-Fühler und eine Genauigkeit von $\pm 0,5$ K verfügt, wurden im 20-Minuten-Takt Temperatur und Luftfeuchte aufgezeichnet. Die Lagergebinde für die Variante „dunkel 20 °C“ wurden in einem abgedunkelten Kellerraum platziert. Der Raum wurde möglichst konstant auf 20 °C temperiert. Um die Temperaturschwankungen zu erfassen, wurde die Temperatur mit einem Datalogger (Testo 175-H2) dokumentiert. Die Gebinde der Variante „dunkel 5 °C“ wurden in Kühlschränken eingelagert. Da der Kühlschrank eine Temperaturkonstanz von ± 1 K aufweist, wurde auf eine kontinuierliche Temperaturaufzeichnung verzichtet. Die Lagertemperatur im Kühlschrank wurde mit einem Thermometer stichprobenartig kontrolliert.

Gasaustausch

Als weitere Variante wurde der Gasaustausch mit der Umgebung untersucht. Dazu wurden die Deckel der Behälter mit Öffnungen und verschiedenen Anschlüssen versehen. Verwendet wurden hierfür Verschraubungen und Anschlüsse aus vernickeltem Messing und Dichtungen aus PVC. Bei der Variante „gasdicht“ wurde zusätzlich eine Druckluft-Schnellkupplung angebracht, um den Behälter während der Beprobung mit Stickstoff spülen zu können. Bei der Variante „Gasaustausch mit getrockneter Umgebungsluft“ wurden die Behälter an eine „Trockenpatrone“ ange-

geschlossen. Diese besteht aus einer ein Liter Low-Density-Polyethylen (LDPE) Probenflasche, die mit Silica-Gel zur Aufnahme der Luftfeuchtigkeit gefüllt ist. Der Deckel dieser Probenflasche wurde mit einer zweiten Bohrung als Belüftungsöffnung versehen, sodass eventuell nachströmende Luft von oben in die Flasche gelangt, das Silica-Gel durchströmt und dabei getrocknet wird. Die Trockenpatronen wurden wöchentlich überprüft und bei Sättigung ausgewechselt, spätestens aber alle drei Monate bei der Probenahme. Bei der Variante „Umgebungsluft“ wurden für die Lagerung im Freien die Öffnungen der Behälter mit einem Schlauchaufsatz vor eindringendem Wasser und Schnee geschützt.

Codierung der Behälter

Die Codierung der einzelnen Lagerungsvarianten ist in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Codierung der Lagerungsvarianten

Information	Codierung
Kraftstoffart	WR Rapsölkraftstoff aus Winterraps
	SR Rapsölkraftstoff aus Sommerraps
	WR/SR Mischung von Rapsölkraftstoff aus Winterraps und Rapsölkraftstoff aus Sommerraps
	WR/RME Rapsölkraftstoff aus Winterraps mit RME vergällt
Tankmaterial	S Stahl
	VA Edelstahl
	PE Polyethylen
Lagerbedingung	5 5 °C
	20 20 °C
	TG Tagesgang
Gasaustausch	D gasdicht
	U Umgebungsluft
	T getrocknete Umgebungsluft/Trockenpatrone

4.7.2 Probenahme

Die Probenahmen für die Untersuchungen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff fand im Zeitraum zwischen Juni 2005 und September 2006 in einem dreimonatigen Abstand statt. Insgesamt wurden von allen Varianten sechs Proben gezogen. Mit Hilfe einer Hand-Vakuumpumpe wurde jeweils ein Probevolumen von 250 ml aus den Gefäßen entnommen. Der Rapsölkraftstoff in den Gebinden wurde vor der Probenahme nicht homogenisiert. Die Probeflaschen sind aus High-Density-Polyethylen (HDPE), die für die Probenahme eingesetzten Schläuche sind aus PVC. Die Entnahme der Probe erfolgte nach Möglichkeit etwa 10 cm unter dem Flüssigkeitsspiegel. Vom Probenehmer wurde bei jeder Probenahme ein Protokollblatt ausgefüllt, in dem wichtige Informationen, wie Probenahmetermin, Wechsel der Trockenpatrone, Besonderheiten etc. vermerkt wurden. In Abbildung 21 ist die Probenahme bei dem Lagerungsversuch und der Aufbau der Lagervariante „20 °C, dunkel“ dargestellt. Während der Probenahme wurde bei den Varianten „gasdicht“ permanent mit Stickstoff gespült.

Falls bei einzelnen Versuchsvarianten durch den Einfluss der Lagerung deutliche Verletzungen mindestens eines Grenzwerts nach der DIN V 51605 festgestellt wurden, wurden diese Varianten bei der weiteren Beprobung nicht mehr berücksichtigt.



Abbildung 21: Aufbau der Lagervariante „dunkel 20 °C“ und Probenahme bei den Untersuchungen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff

4.8 Analytik

Die Rapsölkraftstoffe, die bei der „Beprobung Qualitätssicherung“ und bei der „Beprobung Markttransparenz“ entnommen wurden sowie die Öle, die bei der Verarbeitung der Versuchsvarianten gewonnen wurden, wurden auf die in Tabelle 9 aufgeführten Kennwerte analysiert. Ebenso wurden zur Dokumentation der Eingangsdaten der Rapssaaten und für Rückschlüsse auf den Abpressgrad zusätzlich die Presskuchen auf ausgewählte Kennwerte untersucht. Die Prüfverfahren der zu untersuchenden Kennwerte der Rapssaat, des Rapspresskuchens und des Rapsölkraftstoffs sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 9: Versuchsvarianten und zu untersuchende Kennwerte

Variante	Kennwerte Rapssaat	Kennwerte Presskuchen	Kennwerte Rapsölkraftstoff
Beprobung Qualitätssicherung	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Gesamtverschmutzung, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Wassergehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt, Schwefelgehalt
Beprobung Markttransparenz	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Gesamtverschmutzung, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Wassergehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt, Schwefelgehalt
Rapssorten	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Fettsäuremuster, Iodzahl, Gesamtverschmutzung, Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Wassergehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt, Schwefelgehalt
Auswuchs	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt
Besatz	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt
Unreife Saat	Ölgehalt Wassergehalt Säurezahl	Ölgehalt	Säurezahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Calciumgehalt, Magnesiumgehalt
Lagerung	-	-	Säurezahl, Oxidationsstabilität, Wassergehalt

Tabelle 10: Kennwerte und Prüfmethode für die Untersuchung von Rapssaat, Rapspresskuchen und Rapsölkraftstoff

	Kennwert	Prüfmethode
Rapssaat	Ölgehalt	EN ISO 10565
	Wassergehalt	DIN 51718
	Säurezahl	DIN EN ISO 660
Rapspresskuchen	Ölgehalt	EN ISO 10565
Rapsöl	Fettsäuremuster	DIN EN 14103
	Iodzahl	DIN EN 14111
	Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662
	Säurezahl	DIN EN 14104
	Oxidationsstabilität (110 °C)	DIN EN 14112
	Phosphorgehalt	DIN EN 14107
	Wassergehalt	DIN EN ISO 12937
	Calciumgehalt	DIN EN 14538
	Magnesiumgehalt	DIN EN 14538
	Schwefelgehalt	DIN EN 20884

5 Ergebnisse und Diskussion

Zunächst werden die Ergebnisse der beiden Beprobungen von Rapsölkraftstoffproduzenten „Qualitätssicherung“ und „Markttransparenz“ vorgestellt. Im Anschluss werden die Resultate der Untersuchungen zum Einfluss der Beschaffenheit der Rapssaat auf die Ölqualität und die Ergebnisse von Filtrationsversuchen präsentiert. Neue Ansätze für eine Schnelltestmethode zur Bestimmung der Gesamtverschmutzung von Rapsölkraftstoff werden vorgestellt. Abschließend werden umfangreiche Ergebnisse aus Versuchen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff gezeigt.

5.1 Beprobung Qualitätssicherung

Über einen Zeitraum von 1½ Jahren wurden 22 dezentrale Ölmühlen siebenmal hinsichtlich der Kraftstoffqualität beprobt. Eine Beschreibung der einzelnen Ölmühlen ist im Anhang S. 219 f nachzulesen. Die Messgenauigkeit der Prüfverfahren wurde bei der Beurteilung der Analysenergebnisse der „Beprobung Qualitätssicherung“ nicht berücksichtigt. Nähere Erläuterungen der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Prüfverfahren folgen in Kapitel 5.2, S. 81 f.

5.1.1 Betriebsbedingungen der Ölpresse

In Abbildung 22 sind die Abpressgrade der beprobten Ölmühlen dargestellt. Die in der Abbildung 22 abgebildeten Analysendaten wurden mit der in Kapitel 4.2 beschriebenen Formel berechnet und beziehen sich auf die Methode EN ISO 10565 zur Bestimmung des Ölgehalts der Saat und des Presskuchens. Sind Ölmühlen neben einer Ziffer zusätzlich mit Buchstaben codiert, handelt es sich hierbei um unterschiedliche Ölpressen, die in der Ölmühle eingesetzt werden. Der Median des Abpressgrades beträgt 81,2 Masse-%, der Mittelwert 79,9 Masse-%. Auffällig sind die stark schwankenden Abpressgrade bei den Ölpressen 6a, 11, 12, 13, 15b, 19 und 21. Wohingegen die Ölpressen 3, 7a, 10, 14, 18 Abpressgrade auf konstantem Niveau sowie 9abc, 15a und 22 Abpressgrade auf konstant hohem Niveau erzielen.

Die Ölpresse 6a wurde nach der ersten Beprobung gewartet und zeigte einen höheren Abpressgrad bei der zweiten Beprobung. Ab der dritten Beprobung traten erneut technische Schwierigkeiten auf, wodurch der Abpressgrad sich wieder verringerte. Sehr stark variiert der Abpressgrad bei der Ölmühle 12. Die Ölpresse 12a wurde daraufhin mehrfach repariert und gewartet. Ab Beprobung 12/2005 wurden wieder konstant höhere Abpressgrade festgestellt. Auffällig ist auch der kontinuierliche Rückgang des Abpressgrades bei der Ölmühle 13 während des Beprobungszeitraumes. Zwischen Beprobung sechs und sieben wurden die Presswerkzeuge gewechselt, wodurch bei der Beprobung 09/2006 wieder ein deutlich höherer Abpressgrad erreicht wurde. Bei der Ölmühle 15 wurde vor der Beprobung 09/2006 zur bestehenden Ölpresse 15a ein zweite Ölpresse 15b eines anderen Herstellers installiert. Mit der Ölpresse wurden jedoch nicht die Abpressgrade vergleichbar mit der Ölpresse 15a erreicht, woraufhin die Ölpresse wieder abgebaut wurde und als zweite Ölpresse das identische Modell wie Ölpresse 15a aufgebaut wurde. Mit dieser neuen Ölpresse 15b wurden ab Beprobung 06/2006 sehr gute Abpressgrade erzielt.

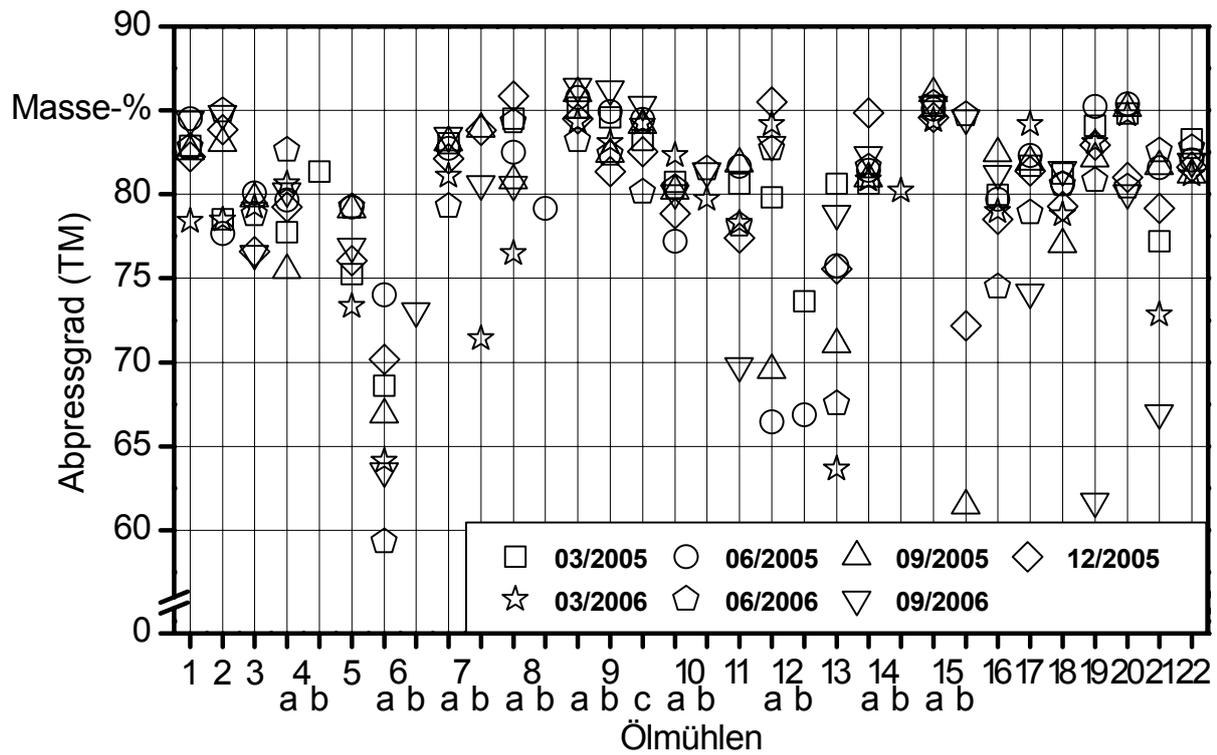


Abbildung 22: Abpressgrad (TM) (berechnet) der Ölmühlen zu den verschiedenen Probenahmezeitpunkten

5.1.2 Eigenschaften der Rapssaat

Bei den Beprobungen 03/2005 und 06/2005 wurde überwiegend Rapssaat der Ernte 2004 verarbeitet. Ab Beprobung 09/2005 bis 06/2006 wurde in den meisten Fällen die Ernte 2005 verarbeitet und bei der Beprobung 09/2006 wurde in der Regel bereits die Ernte 2006 gepresst.

5.1.2.1 Ölgehalt

Der Ölgehalt, der verarbeiteten Rapssaaten beträgt im Mittelwert 45,6 Masse-% und im Median 45,7 Masse-%, bezogen auf die Trockenmasse. Überwiegend wurden in den Ölmühlen Rapssaaten mit hohem Ölgehalt gepresst. Der höchste ermittelte Ölgehalt, bezogen auf die Trockenmasse, betrug 48,1 Masse-%, der geringste 41,1 Masse-%. In Abbildung 23 sind die Ölgehalte der verarbeiteten Saaten der beprobten Ölmühlen dargestellt. Die Ölmühlenbetreiber verarbeiteten hauptsächlich Winterrapsmischungen. Vereinzelt wurden aber auch gezielt nur bestimmte Winterrapsorten, wie Titan oder Alkido, eingesetzt. Der Ölgehalt der Rapssaaten der Ernte 2005 sind im Mittel um etwa 0,6 Masse-% geringer als die der Ernte 2004 (ca. 46 Masse-%). Zum Zeitpunkt der Beprobung 09/2006 wurde Rapssaat mit einem Ölgehalt im Mittelwert von 45,1 Masse-% verarbeitet.

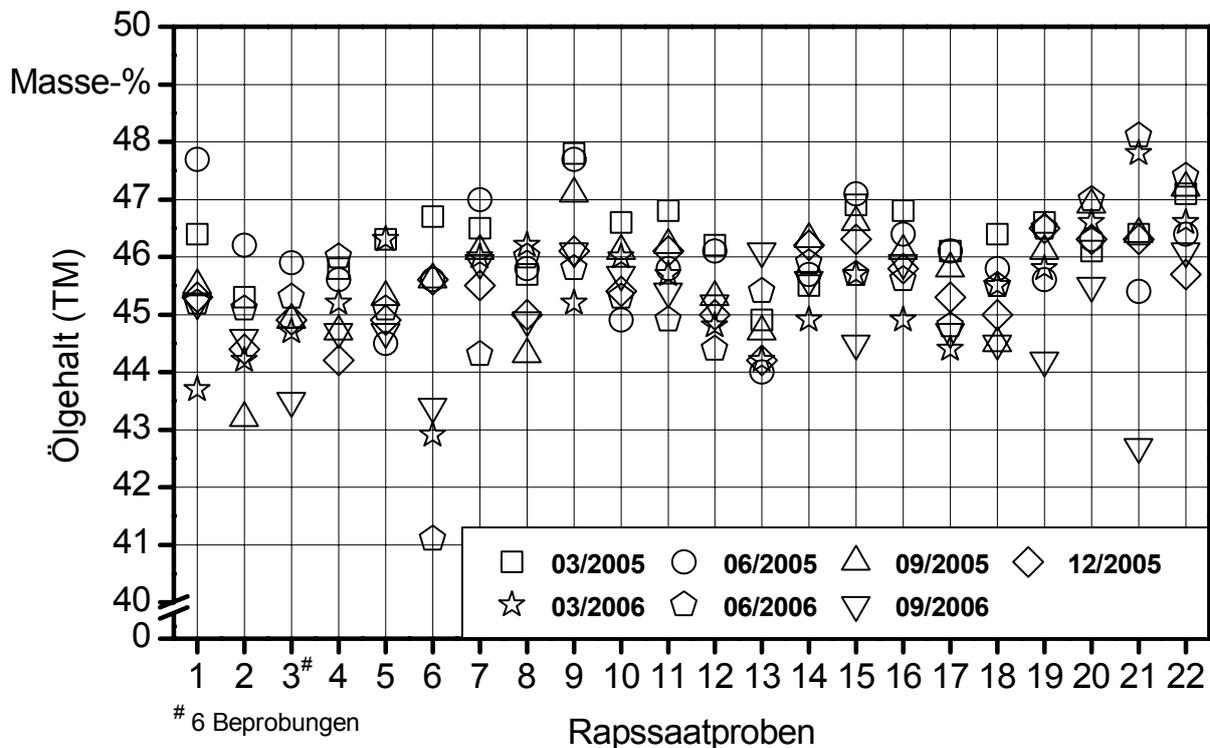


Abbildung 23: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der verarbeiteten Rapssaatproben

5.1.2.2 Säurezahl

In Abbildung 24 sind die Analysenergebnisse der Säurezahl der verarbeiteten Rapssaat, bestimmt nach EN DIN ISO 660 nach Kaltextraktion mit Petroleumbenzin, dargestellt. Der Mittelwert der gemessenen Säurezahlen liegt bei 0,96 mg KOH/g, der Median beträgt 0,84 mg KOH/g. Der maximale gemessene Wert beträgt 4,3 mg KOH/g, der niedrigste Wert 0,1 mg KOH/g. Auffällig ist, dass zum Zeitpunkt der Beprobung 09/2006 eine vergleichsweise sehr geringe Säurezahl im Mittelwert von 0,47 mg KOH/g festgestellt wurde.

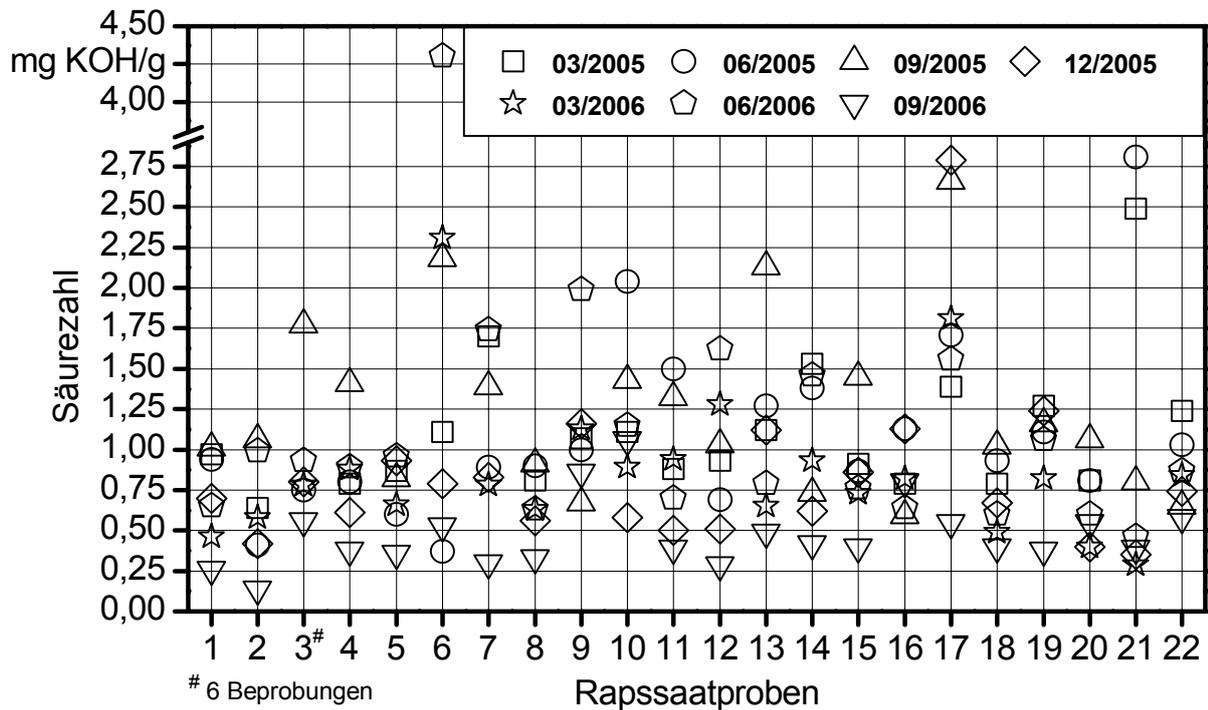


Abbildung 24: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der verarbeiteten Rapssaatproben

5.1.2.3 Wassergehalt

Der Wassergehalt der Rapssaatproben ist in Abbildung 25 dargestellt. Im Mittel liegen die Wassergehalte bei 7,22 Masse-%, bei einem Median von 7,3 Masse-% und entsprechen somit den von WIDMANN (1994) [56] als für die Verarbeitung als günstig ermittelten Gehalte von 6,5 bis 7,5 Masse-%. Der niedrigste Wert für den Wassergehalt wurde bei 3,9 Masse-% und der höchste Wert bei 9,3 Masse-% gemessen. Die niedrigen Wassergehalte bei Ölmühle 8, kommen durch eine zusätzliche Trocknung der Saat kurz vor der Pressung zustande. Rapssaat, die in Ölmühle 6 verarbeitet wurde, weist vergleichsweise hohe Wassergehalte im Mittelwert von 8,2 Masse-% auf. Die Wassergehalte unterliegen offensichtlich keinen jahreszeitlichen oder Erntejahr bedingten Schwankungen. Bei den Ölmühlen 8, 9, 10, 16, 18 und 21 liegen die Wassergehalte in einer auffällig breiten Spanne. Hingegen pressen die Ölmühlen 7 und 22 Rapssaat mit nahezu konstanter Feuchte. Von Ölmühle 22 ist bekannt, dass ein Großteil der verarbeiteten Rapssaat im angeschlossenen Lagerbetrieb erfasst wird. Die Trocknung, die Lagerung und die Pressung der Rapssaat erfolgt aus einer Hand.

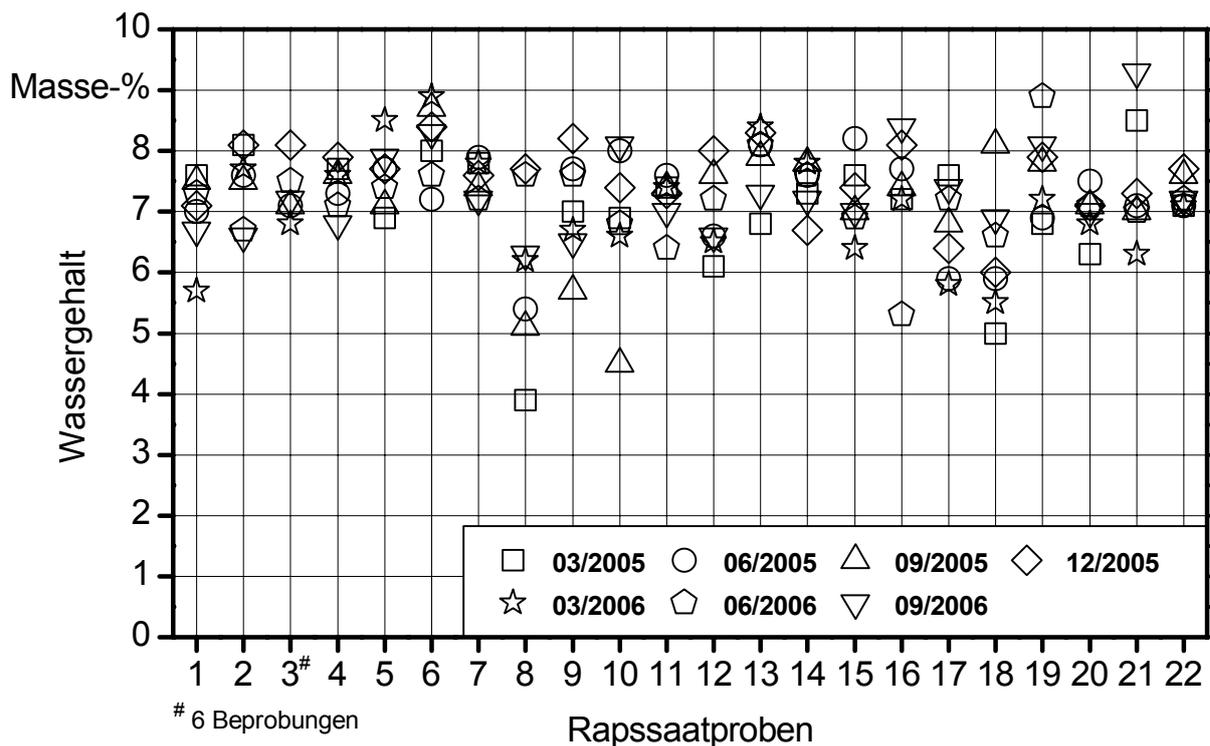


Abbildung 25: Wassergehalt (DIN 51718) der verarbeiteten Rapssaatproben

5.1.3 Eigenschaften des Rapspresskuchens

Wie in Kapitel 5.1.1, S. 65 dargestellt, kann anhand des Ölgehaltes der Saat und des Presskuchens der Abpressgrad berechnet werden. Somit lassen sich aus den Eigenschaften des Rapspresskuchens Rückschlüsse auf die Betriebsbedingungen der Ölpresse ableiten. Außerdem stellt der Presskuchen ein wichtiges Kuppelprodukt bei der Ölsaatenverarbeitung dar. Bei der Vermarktung von Presskuchen als Futtermittel sind konstante Restfettgehalte gewünscht, damit die Rationen in der Futtermischung nicht ständig neu angepasst werden müssen.

Der Ölgehalt der untersuchten Presskuchenproben beträgt im Mittelwert 14,1 Masse-% und im Median 13,5 Masse-%. Bei der Ölpresse 8a wurde der geringste Restfettgehalt mit 10,3 Masse-% und bei der Ölpresse 15b der höchste Restfettgehalt mit 25,1 Masse-% gemessen. Starke Schwankungen im Restfettgehalt werden bei den Ölmühlen, beziehungsweise Ölpresen, 7b, 12a, 13, 15b und 19 beobachtet. Die Ölpresse 12a wurde nach der Beprobung 09/2005 gegen eine neue ausgetauscht, was zu einer deutlichen Verringerung des Restfettgehalts im Presskuchen führte. Bei der Ölpresse 6a sind über den gesamten Untersuchungszeitraum sehr hohe Restfettgehalte im Presskuchen zu verzeichnen. Wie ein Vergleich von Abbildung 26 mit Abbildung 22 zeigt, lässt sich anhand der Ölgehalte im Presskuchen tendenziell der Abpressgrad der Ölpresen überwachen.

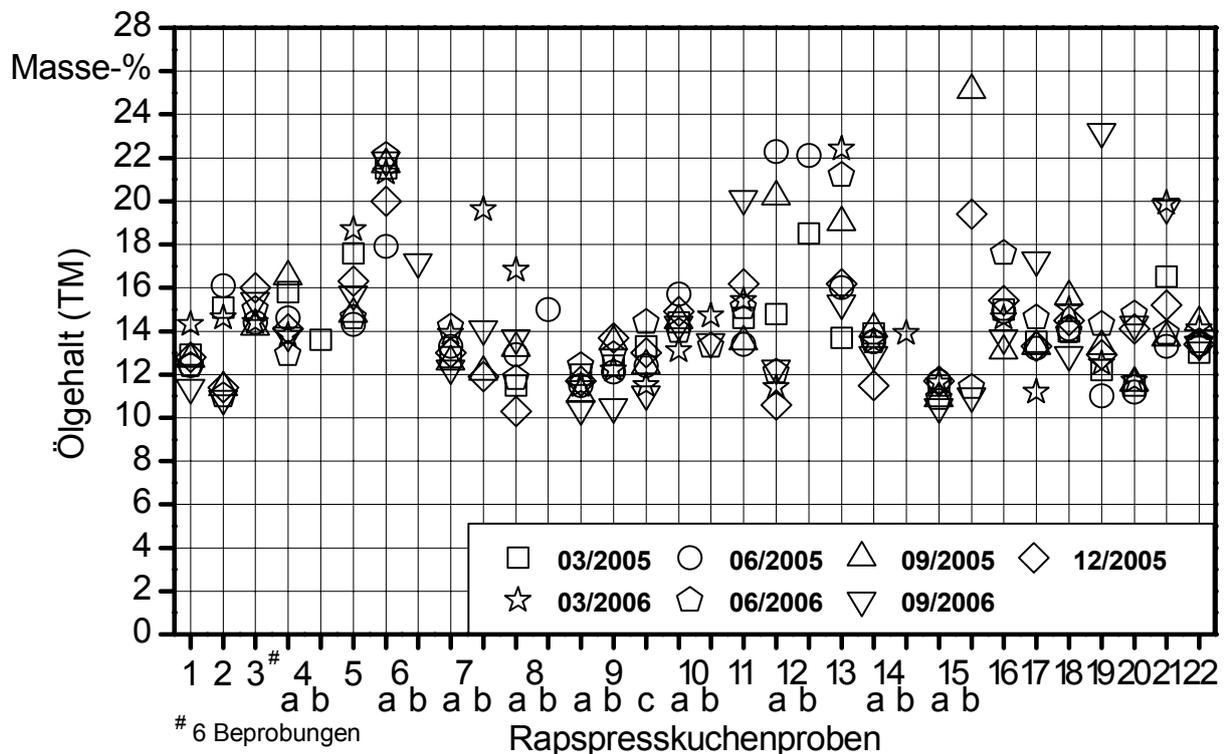


Abbildung 26: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapspresskuchenproben

5.1.4 Eigenschaften des Rapsölkraftstoffs

5.1.4.1 Gesamtverschmutzung

Der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff liegt, gemäß der Vornorm DIN V 51605, bei 24 mg/kg. Bei der Beurteilung von Analyseergebnissen ist jedoch zu beachten, dass das Prüfverfahren DIN EN 12662 eine vergleichsweise geringe Vergleichbarkeit von 13,2 mg/kg im Bereich des Grenzwerts von 24 mg/kg aufweist. Weitere Erläuterung zur Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Prüfverfahren folgen in Kapitel 5.2, S. 81 f.

Der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff wird von vielen Ölproben nicht eingehalten. Der Median aller Analyseergebnisse liegt bei 20 mg/kg, der Mittelwert bei 29 mg/kg. Alle Analyseergebnisse sind in Abbildung 27 dargestellt. Nur Ölmühle 1 konnte bei allen Beprobungen den Grenzwert deutlich unterschreiten. Die Ölmühlen 7 und 21 haben nur bei jeweils einer Beprobung den Grenzwert geringfügig überschritten. Ölmühle 6 hat, nach deutlicher Grenzwertüberschreitung bei Beprobung 03/2005, bei den folgenden Beprobungen den Grenzwert immer eingehalten. Zwischen Beprobung eins und zwei wurde eine Kammerfilterpresse zur Hauptreinigung in Betrieb genommen. Sehr große Probleme bei der Einhaltung der Anforderungen der Vornorm traten bei den Ölmühlen 2, 17, 18, 20 und 22 auf. Ölmühle 2 reagierte auf die unzureichende Qualität und ersetzte das Sedimentationsverfahren durch eine Filtration mit einer Kammerfilterpresse und entsprechende Sicherheitsfilter. Die Analyseergebnisse für Ölmühle 2 bei den Beprobungen 06/2006 und 09/2006 sind deutlich besser. Bei der Beprobung 03/2005 herrschten sehr tiefe Temperaturen und von den Ölmühlenbetreibern wurde häufig über Probleme beim Reinigen der Öle berichtet. Die Ölmühle 17 berichtete immer wieder über Schwierigkeiten beim Betrieb der Filteranlage, was sich in hohen Werten für die Gesamtverschmutzung deutlich widerspiegelt. Acht von 22 Ölmühlen haben während des Untersuchungszeitraums Änderungen an der Filtertechnik vorgenommen. Bei den Ölmühlenbetreibern war hinsichtlich der Gesamtverschmutzung im Rapsölkraftstoff ein steigendes Qualitätsbewusstsein zu verzeichnen. So verfehlten bei der letzten Beprobung 09/2006 nur noch zwei Ölmühlen den Grenzwert für die Gesamtverschmutzung.

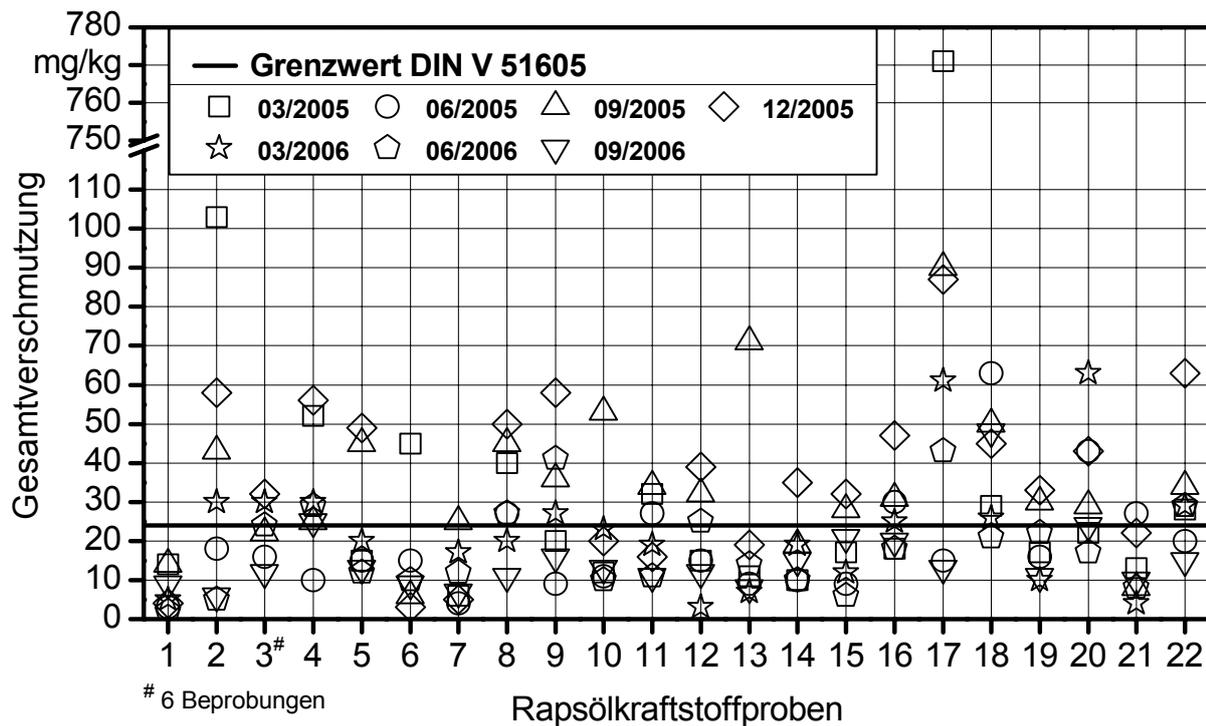


Abbildung 27: Gesamtverschmutzung (DIN EN ISO 12662) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.2 Säurezahl

Die Säurezahl, als Maß für den Gehalt an freien Fettsäuren im Öl, ist in der Vornorm DIN V 51605 auf 2,0 mg KOH/g begrenzt. Der Median aller Proben für die Säurezahl beträgt 0,9 mg KOH/g, der Mittelwert 1,0 mg KOH/g bei einer Standardabweichung von 0,81. Die Ergebnisse der Analysen sind in Abbildung 28 dargestellt. Die Einhaltung des Grenzwerts bereitet demnach den meisten Ölmühlen keine Probleme. Lediglich die Ölmühlen 6, 17 und 18 hatten Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen. Es fällt auf, dass bei der Beprobung 09/2005 der Mittelwert 1,4 mg KOH/g beträgt und damit im Vergleich deutlich über dem Mittelwert aller Analysergebnisse liegt. Der Median von 0,76 mg KOH/g bei der Beprobung 09/2006 ist hingegen vergleichsweise niedriger. Analog wurden geringe Werte für die Säurezahl der Saat, siehe Kapitel 5.1.2.2, S. 68, bei der Beprobung 09/2006 festgestellt. Der Einfluss des Erntejahrs der Rapssaat, beziehungsweise der Qualität der Rapssaat auf die Rapsölkraftstoffqualität ist gegeben. Eine Korrelation der Werte Säurezahl der Rapssaat und Säurezahl im Rapsölkraftstoff ist nicht festzustellen, da die Proben für Rapsölkraftstoff aus dem Lagertank zur Abgabe an die Kunden entnommen wurde und hier der Rapsölkraftstoff in der Regel als Mischung aus der Verarbeitung verschiedener Raps-Chargen vorliegt. Außerdem kann die Säurezahl des Rapsölkraftstoffs durch die Lagerbedingungen beeinflusst worden sein.

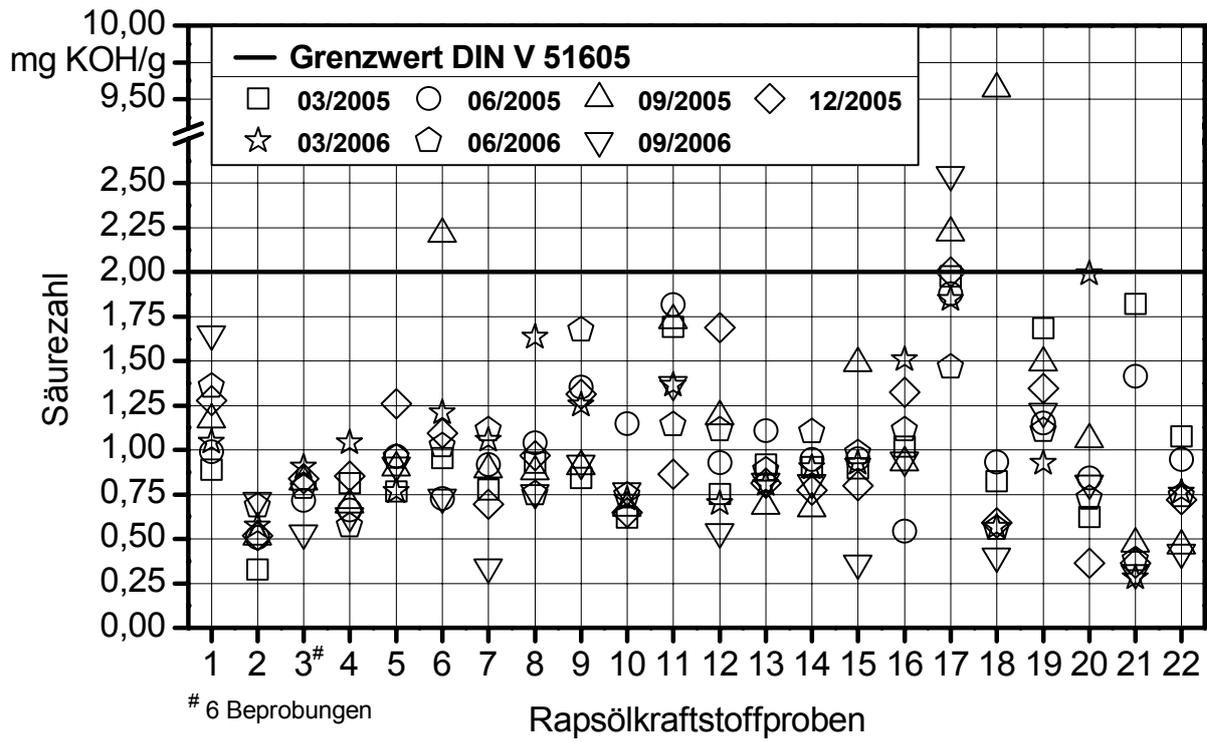


Abbildung 28: Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.3 Phosphorgehalt

Der Gehalt an Phosphor in den Rapsölkraftstoffproben wird in Abbildung 29 dargestellt. Die Einhaltung des Grenzwerts von 12 mg/kg, gemäß der Vornorm DIN V 51605, stellt für die Ölmühen, mit Ausnahme der Nummern 16, 17 und 20, kein Problem dar. Insbesondere ist Ölmühle 17 auffällig, die bei sieben Beprobungen nur in einem Fall den Grenzwert einhält. Zumindest zum Beprobungszeitpunkt 03/2005 wurde nachweislich unreife Saat verarbeitet, wodurch der hohe Phosphorgehalt erklärbar ist. Siehe hierzu auch Kapitel 5.1.4.5, S. 76 und Kapitel 5.3.3.2, S. 116. Der Median aller Analysenergebnisse beträgt 5,4 mg/kg, der Mittelwert 6,4 mg/kg und die Standardabweichung 6,3. Die besten Ergebnisse hinsichtlich des Phosphorgehalts im Öl wurden von der Ölmühle 2 mit einem Mittelwert von 1,2 mg/kg, von der Ölmühle 21 mit einem Mittelwert von 3,2 mg/kg und von den Ölmühen 1, 7 und 12 jeweils mit einem Mittelwert von 3,4 mg/kg erzielt. Die Mediane der Beprobungen 03/2005 und 06/2005 waren am niedrigsten, die höchsten Mediane wurden zu den Beprobungsterminen 09/2005 und 09/2006 festgestellt. Ein jahreszeitlicher und Erntejahr abhängiger Einfluss auf den Phosphorgehalt scheint gegeben zu sein.

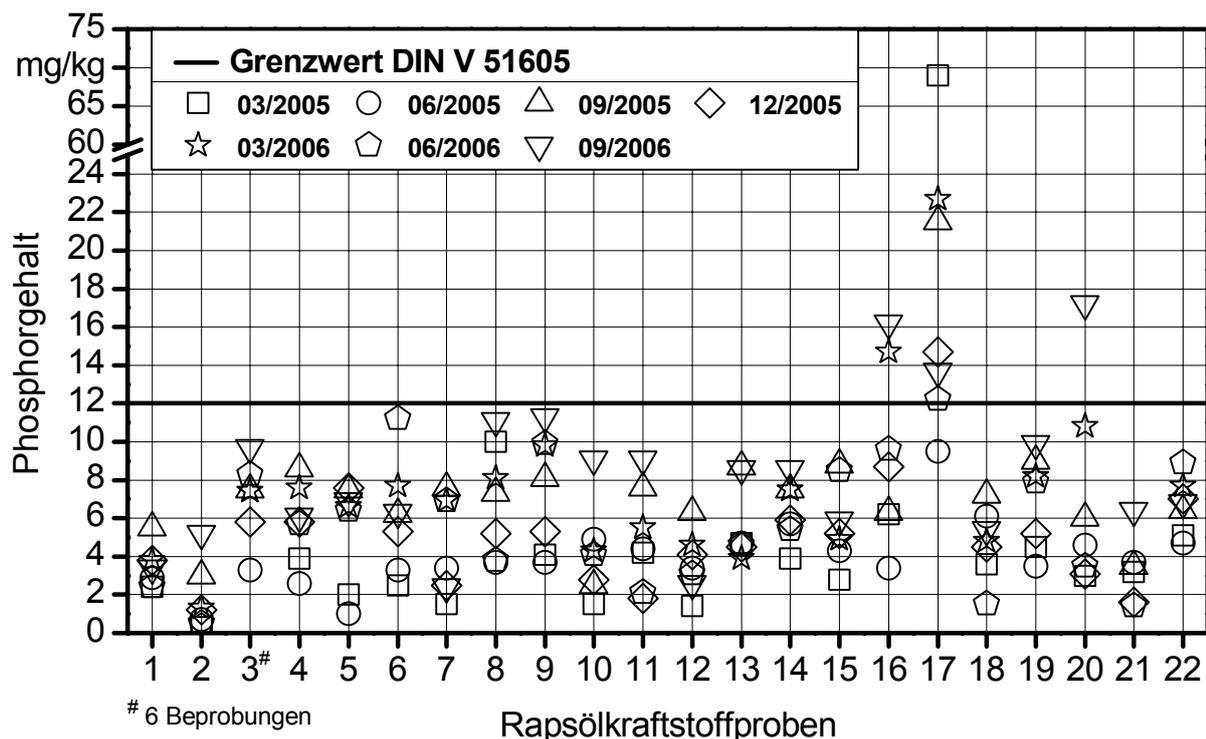


Abbildung 29: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.4 Summengehalt an Calcium und Magnesium

Die Kennwerte Calcium und Magnesium dürfen in Summe den Grenzwert von 20 mg/kg gemäß Vornorm DIN V 51605 nicht überschreiten. In der Abbildung 30 sind die Analysenergebnisse der sieben Beprobungen dargestellt. Der Mittelwert für den Summengehalt an Calcium und Magnesium beträgt für alle Beprobungen 14,5 mg/kg, der Median 13,7 mg/kg. Besonders geringe Calcium- und Magnesiumgehalte wurden im Mittelwert von den Ölmühlen 2 und 21 mit jeweils 6,2 mg/kg und von den Ölmühlen 10 und 20 mit jeweils 9,2 mg/kg erzielt. Ölmühle 17 hingegen konnte bei keiner einzigen Beprobung den Grenzwert einhalten. Die Gründe hierfür liegen vermutlich in der unzureichenden Qualität, zum Beispiel Ausreifung, der verarbeiteten Rapssaat, siehe Kapitel 5.3.3.2, S. 116. Ölmühle 9 konnte ab Beprobung 12/2005 den Grenzwert nicht mehr einhalten. Die Mediane bei den Beprobungen 03/2005 und 06/2005 sind am niedrigsten. Ein Erntejahr abhängiger Einfluss der Rapssaat auf die Kraftstoffqualität ist möglicherweise gegeben. Korrelationen zwischen den Gehalten an Phosphor, Calcium und Magnesium wurden bereits in der Projektphase I [42] festgestellt und können bestätigt werden.

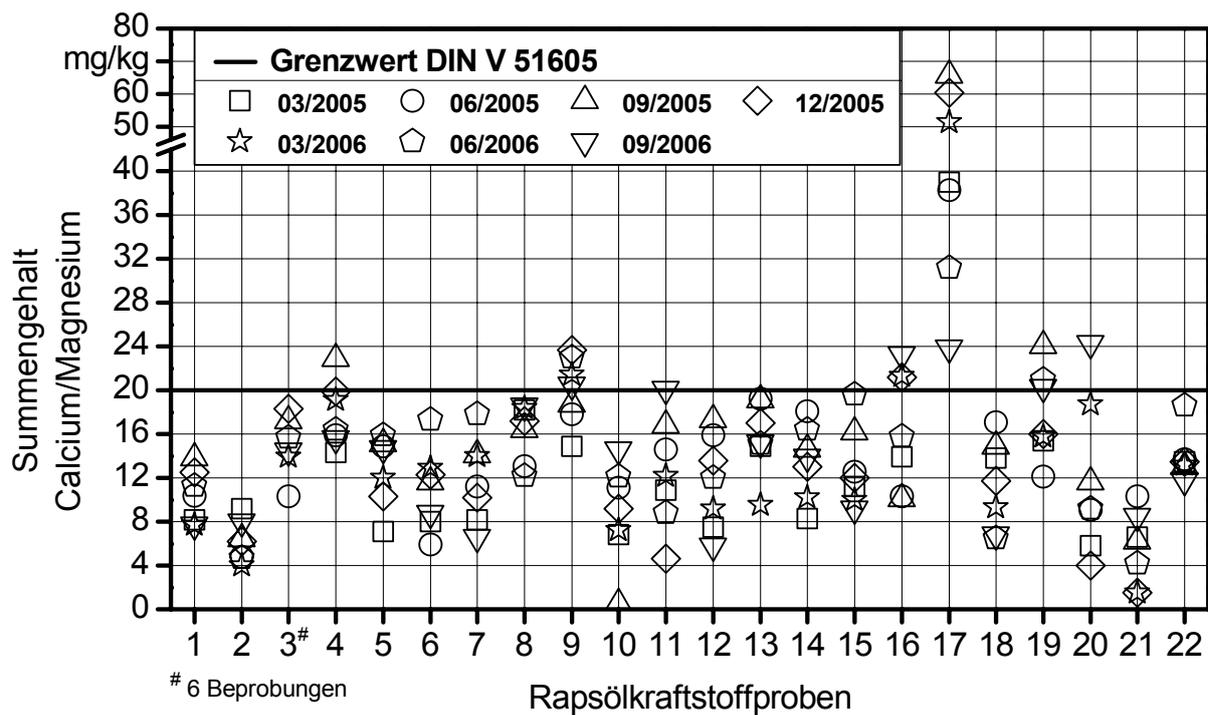


Abbildung 30: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.5 Schwefelgehalt

Der Grenzwert für den Schwefelgehalt ist in der Vornorm DIN V 51605 mit 10 mg/kg festgelegt. Die Einhaltung des Grenzwerts ist für die meisten der beprobten Ölmühlen ohne Schwierigkeiten möglich. Die Analysenergebnisse für den Kennwert Schwefel sind in Abbildung 31 dargestellt. Zumeist liegt der Gehalt an Schwefel unter der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens in Höhe von 5 mg/kg. Der Grenzwert für den Schwefelgehalt wurde lediglich von den Ölmühlen 16 und 17 überschritten. Bei Ölmühle 17 wurde der höchste Schwefelgehalt mit 39 mg/kg gemessen und durch eine Nachanalyse bestätigt. Die Untersuchung des Presskuchens der Beprobung 03/2005 der Ölmühle 17 hat gezeigt, dass der Wert für Glucosinolat vergleichsweise niedrig ist und es beim Verarbeiten zu einem partiellen Abbau von Glucosinolat gekommen sein muss, in dessen Folge öllösliche schwefelhaltige Glucosinolat-Spaltprodukte (zum Beispiel Isothiocyanate R-NCS) in das Öl übergegangen sind. Als Ursache für den hydrolytischen Glucosinolat-Abbau kommt ein hoher Feuchtegehalt im Presskuchen beziehungsweise in einzelnen (unreifen) Körnern in Frage. Intakte Glucosinolate verbleiben bei der Verarbeitung auf Grund ihrer polaren Struktur im Kuchen. Durch den Ölentzug beim Pressen steigt der Glucosinolat-Gehalt im Kuchen an. Der theoretisch im Kuchen zu erwartende Glucosinolat-Gehalt kann errechnet werden, wenn der Glucosinolat-Gehalt der gepressten Saat sowie die Ölgehalte von Saat und Kuchen bekannt sind. Der in der Rapssaat der Beprobung 03/2005 ermittelte Glucosinolat-Gehalt von 10,5 µmol/g lässt im Presskuchen der Beprobung 03/2005 einen maximalen Glucosinolat-Gehalt von 16,9 µmol/g erwarten. Tatsächlich wird im Kuchen eine Glucosinolat-Konzentration von nur 10,7 µmol/g gefunden. Offenbar hat ein Glucosinolat-Abbau stattgefunden (Abbaurate ca. 37 %). Dieser ist im konkreten Fall nicht durch thermische Zersetzung, sondern durch hydrolytische Glucosinolat-Spaltung zustande gekommen. Das zeigt die Auswertung der Einzelglucosinolate (Verhältnis: Indolyl-Glucosinolate/Gesamt-Glucosinolat). Voraussetzungen für einen hydrolytischen Glucosinolat-Abbau sind die Anwesenheit von aktiver Myrosinase und Wasser. Nennenswerte Reaktionsgeschwindigkeiten werden allerdings nur bei Wassergehalten über 10 % erreicht. Dies war hier offenbar der Fall, wie der Feuchtegehalt des Kuchens von 10,8 % zeigt. Einzelne unreife Körner können deutlich höhere Feuchtegehalte aufweisen, so dass hier die Glucosinolat-Hydrolyse noch schneller ablaufen kann. Bei der Spaltung der Glucosinolate werden u.a. schwefelhaltige Isothiocyanate (zum Beispiel Butenyl-ITC aus Gluconapin oder Pentenyl-ITC aus Glucobrassicinapin) gebildet. Diese auch als „Senföle“ bezeichneten Verbindungen sind im Rapsöl recht gut löslich, so dass damit der Übergang von Schwefel in das Öl erklärbar ist. Diese Aussage bestätigt das Protokoll zur Probenahme 03/2005, auf dem vermerkt wurde, dass bei der Beprobung 1 zum Teil unreife Saat gepresst wurde. Bei dem Kuchen aus der Beprobung 06/2005 entspricht der Glucosinolat-Gehalt etwa der Erwartung, das heißt hier fand keine Hydrolyse statt und demzufolge finden sich auch keine erhöhten Schwefelgehalte im Öl.²

² SCHUMANN, W. (2005), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, schriftliche Mitteilung

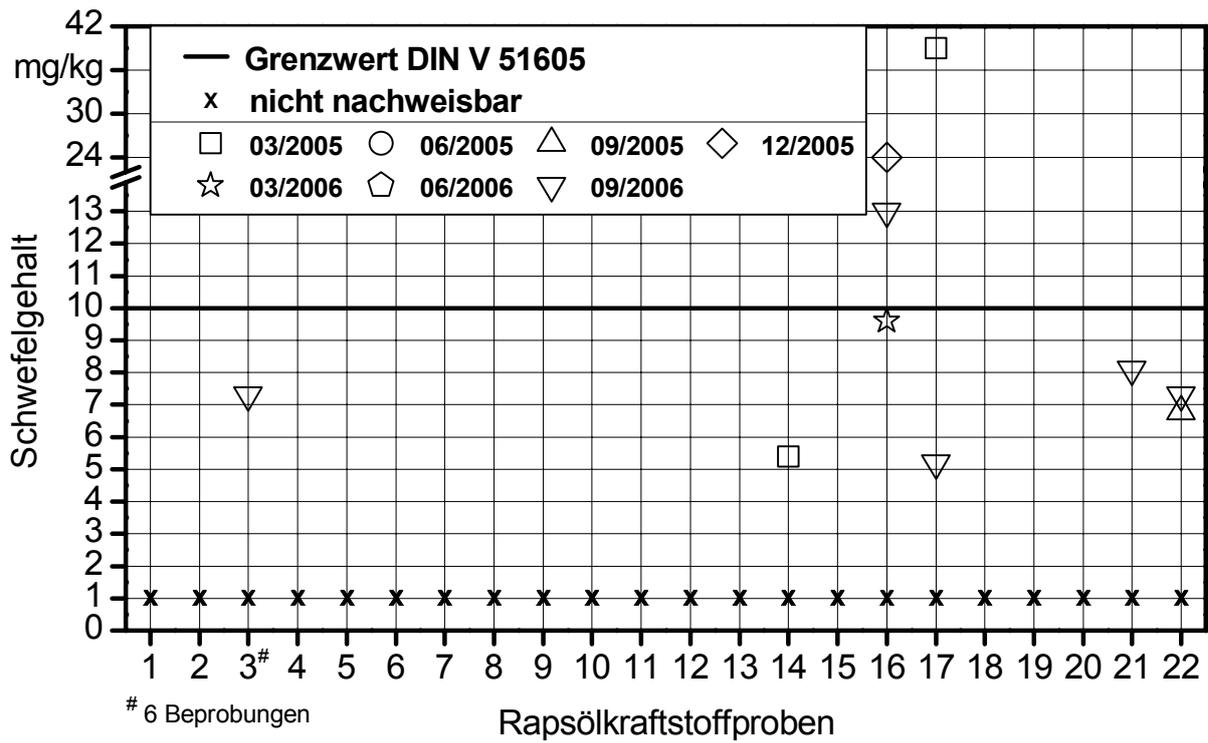


Abbildung 31: Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.6 Oxidationsstabilität

Die Oxidationsstabilität ist ein Maß für die Lagerfähigkeit des Öls. Die Ergebnisse der Analysen sind in Abbildung 32 dargestellt. Der Grenzwert für die Oxidationsstabilität von minimal 6 Stunden (h), gemäß der Vornorm DIN V 51605, wird von den meisten Rapsölkraftstoffproben eingehalten. Neun Ölmühlen unterschritten zumindest bei einer Beprobung den Grenzwert. Der Mittelwert aller Rapsölkraftstoffproben beträgt 7,7 h, der Median liegt bei 7,9 h. Die höchste gemessene Oxidationsstabilität beträgt 10,5 h. Die besten Ergebnisse wurden von den Ölmühlen 8 und 10 erzielt. Der höchste Median mit 9,1 h wurde bei der Beprobung 09/2006 erreicht, die Mediane der Beprobungen 03/2005 und 06/2005 waren mit 7,0 beziehungsweise 7,1 h vergleichsweise gering. Es besteht offensichtlich ein Zusammenhang zwischen Erntejahr und Kraftstoffqualität.

Für Ausreißer in der Oxidationsstabilität bei einzelnen Ölmühlen, lassen sich meist im Rückblick keine eindeutigen Erklärungen finden. Es wurde lediglich deutlich, dass erwartungsgemäß bei Probenahmen aus fast leeren Tanks die entnommenen Restmengen in der Regel ungenügende Lagerstabilitäten aufwiesen.

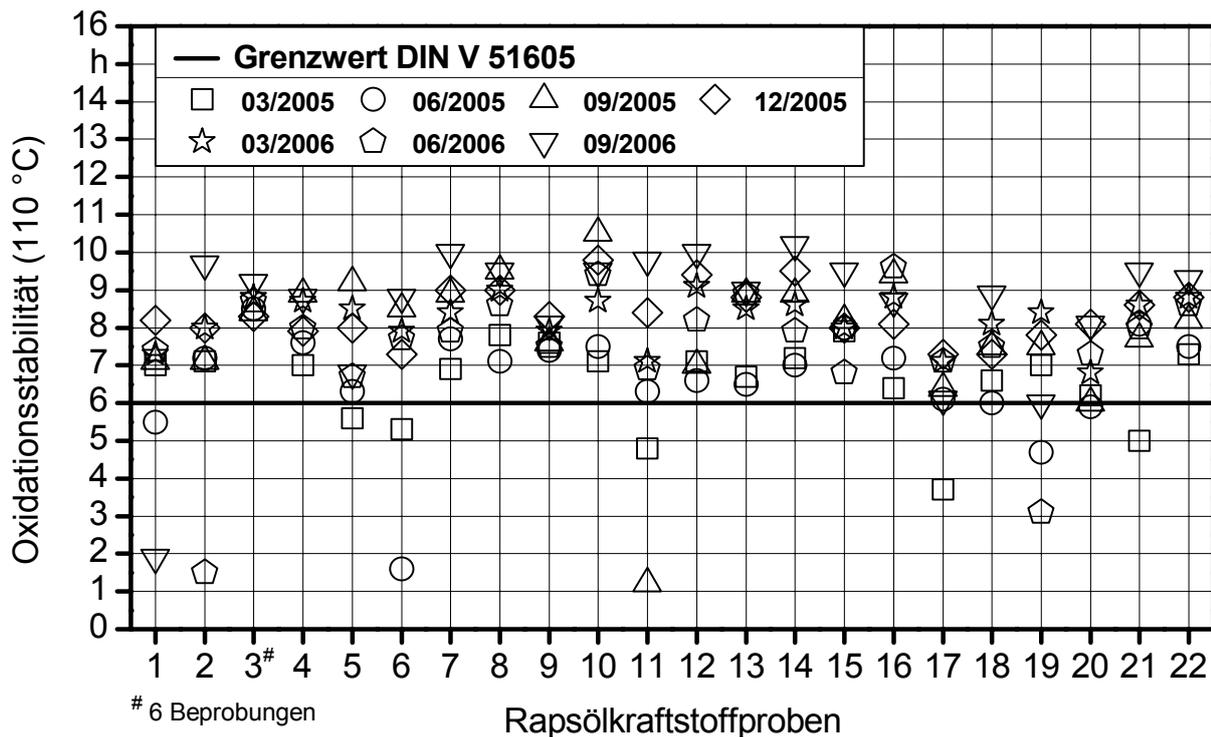


Abbildung 32: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.4.7 Wassergehalt

Sieben Ölmühlen überschritten den Grenzwert für den Wassergehalt von 0,075 Masse-% zumindest bei einer Beprobung. Vier Grenzwertüberschreitungen bei den Beprobungen waren bei Ölmühle 21 festzustellen. Die Analysenergebnisse der Beprobungen zeigt die Abbildung 33. Der Mittelwert aller Rapsölkraftstoffproben beträgt 0,0588 Masse-%, der Median 0,0579 Masse-%. Der niedrigste gemessene Wert liegt bei 0,0383 Masse-%, der höchste dagegen bei 0,1020 Masse-%. Die im Mittel geringsten Wassergehalte wurden bei den Ölmühlen 4, 9, 12 und 17 gemessen. Die im Mittel höchsten Werte wurden bei den Ölmühlen 16 und 21 analysiert. Bei den Beprobungen im Winterhalbjahr sind tendenziell geringere Wassergehalte festzustellen als bei den Beprobungen im Sommerhalbjahr. Dies deutet daraufhin, dass der Wassergehalt im Rapsölkraftstoff von der Luftfeuchte beeinflusst wird. Ein jahreszeitlicher Einfluss auf den Wassergehalt ist gegeben.

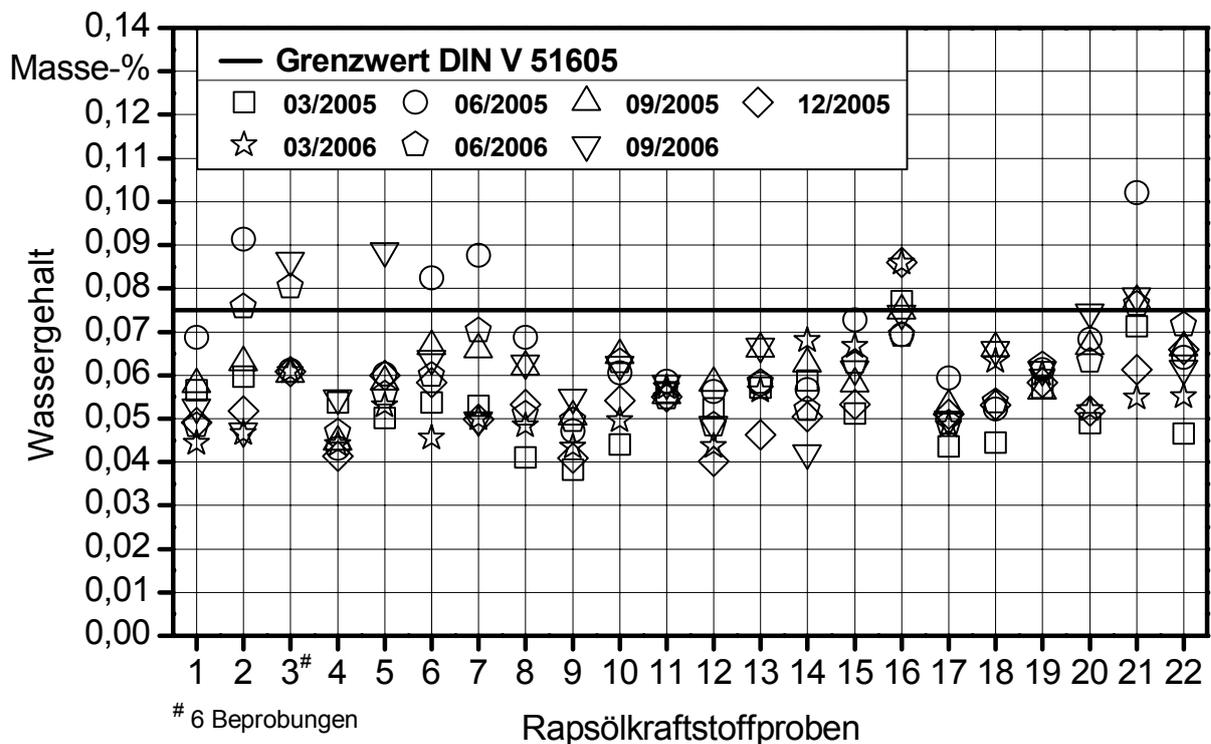


Abbildung 33: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben

5.1.5 Zusammenfassung „Beprobung Qualitätssicherung“

Die häufigsten Probleme bei der Erzeugung von Rapsölkraftstoff treten nach wie vor bei dem Parameter Gesamtverschmutzung auf. Dadurch, dass das Prüfverfahren für die Gesamtverschmutzung eine sehr geringe Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit aufweist, müssen die Rapsölkraftstoffhersteller künftig noch mehr Augenmerk darauf legen, dass als Ziel eine Gesamtverschmutzung deutlich unter dem Grenzwert, zum Beispiel ≤ 16 mg/kg, angestrebt wird. Siehe hierzu auch Tabelle 11, S. 82. Sehr große Probleme bei der Herstellung von Rapsölkraftstoff traten bei den Ölmühlen 16 und 17 auf. Bei mehreren Kenngrößen waren wiederholt Grenzwertüberschreitungen zu verzeichnen. Bei Ölmühle 1 traten ausschließlich bei der Oxidationsstabilität, bei den Ölmühlen 8, 10, 12, 13, 14, 15 und 22 ausschließlich bei der Gesamtverschmutzung Grenzwertüberschreitungen auf. Abbildung 34 gibt einen Überblick über die Einhaltung der Grenzwerte bei der „Beprobung Qualitätssicherung“.

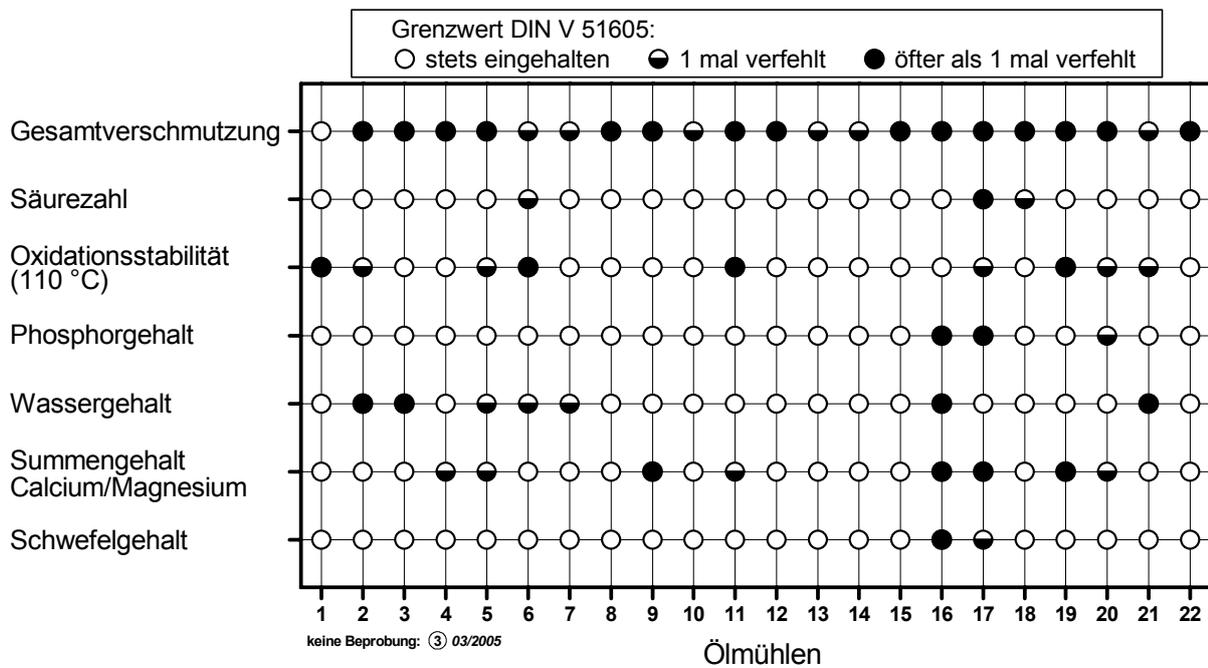


Abbildung 34: Einhaltung der Grenzwerte bei der „Beprobung Qualitätssicherung“

5.2 Beprobung Markttransparenz

Die Qualität von Rapsölkraftstoff bei der „Beprobung Markttransparenz“ wird anhand der Analysemethoden gemäß den Anforderungen der DIN V 51605 überprüft. Da die Qualitätsbeurteilung von Rapsölkraftstoff aus Kundensicht erfolgt, wird bei der Ergebnisauswertung die Messgenauigkeit der Prüfverfahren berücksichtigt.

Für die Messgenauigkeit der Prüfverfahren sind die Wiederholbarkeit „r“ und die Vergleichbarkeit „R“ ein Gütemaß. Die Wiederholbarkeit „r“ ist das Maß der Übereinstimmung zwischen unabhängigen Ergebnissen, die in einer üblichen und korrekten Durchführung desselben Prüfverfahrens an identischen Proben in kurzen Zeitintervallen unter den gleichen Prüfungsbedingungen, wie zum Beispiel gleicher Bearbeiter, gleiche Apparatur, erhalten worden sind. Die Vergleichbarkeit „R“ ist das Maß der 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 erhalten wurden. [12]

Unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen aufgrund der Vergleichbarkeit der Prüfverfahren werden die Ergebnisse der Analysen „Markttransparenz“ zum einen aus Sicht des Verkäufers (Ölmühlenbetreibers) und zum anderen aus der Sicht des Kunden ausgewertet. Der Verkäufer muss, um sicher zu gehen, dass er den Grenzwert unter Berücksichtigung des Messfehlers des Prüfverfahrens einhält, einen Zielwert bei der Produktion anstreben, der „besser“ ist als der Grenzwert. Dieser Zielwert, im Folgenden bezeichnet als „Limitwert bei der Produktion“, berechnet sich unter Berücksichtigung eines 95 %-Sicherheitsniveaus nach folgender Formel:

$$\text{Limitwert bei der Produktion (LWP)} = \text{Grenzwert des Kennwertes} \pm 0,59 \cdot R$$

Der Käufer darf die Einhaltung eines Grenzwerts mit 95-prozentiger Sicherheit erst anzweifeln, wenn der Limitwert bei der Abnahme überschritten wird. Dieser Limitwert bei der Abnahme berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Limitwert bei der Abnahme (LWA)} = \text{Grenzwert des Kennwertes} \pm 0,59 \cdot R$$

Im Folgenden werden anhand von zwei Beispielen zu ausgewählten Kennwerten die Zusammenhänge näher erläutert:

Für den Kennwert Gesamtverschmutzung, Grenzwert = 24 mg/kg und Vergleichbarkeit $R = 13,2$ mg/kg, berechnen sich die einzuhaltenden Limitwerte wie folgt:

$$\text{LWP} = 24 \text{ mg/kg} - 0,59 \cdot 13,2 \text{ mg/kg} = 16 \text{ mg/kg}$$

$$\text{LWA} = 24 \text{ mg/kg} + 0,59 \cdot 13,2 \text{ mg/kg} = 32 \text{ mg/kg}$$

Dies bedeutet, dass das Ziel des Ölmühlenbetreibers sein muss, Rapsölkraftstoff mit einer Gesamtverschmutzung kleiner 16 mg/kg zu produzieren. Nur dann kann er mit 95-prozentiger Sicherheit davon ausgehen, dass bei einer Qualitätskontrolle des Kraftstoffs der Grenzwert von

24 mg/kg nicht überschritten wird. Hingegen kann der Abnehmer von Rapsölkraftstoff einen Mangel an Qualität erst mit 95-prozentiger Sicherheit geltend machen, wenn die Gesamtverschmutzung größer 32 mg/kg gemessen wird.

Für den Kennwert Oxidationsstabilität, Grenzwert = 6 h und Vergleichbarkeit R = 1,79 h, berechnen sich die Limitwerte wie folgt:

$$\text{LWP} = 6 \text{ h} + 0,59 \cdot 1,79 \text{ h} = 7,1 \text{ h}$$

$$\text{LWA} = 6 \text{ h} - 0,59 \cdot 1,79 \text{ h} = 4,9 \text{ h}$$

Die Grenzwerte der Kennwerte, die dazugehörigen Limitwerte bei der Produktion (LWP) und bei der Abnahme (LWA) sowie die Werte für die Vergleichbarkeit R sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Für die Analyse von Rapsölkraftstoff wurden bisher in Ringversuchen noch keine Werte für die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit für die genannten Kennwerte ermittelt.

Tabelle 11: Grenzwerte für Rapsölkraftstoff und Limitwerte für Rapsölkraftstoff aus Sicht des Produzenten und des Abnehmers

Kennwert	Prüfverfahren	Einheit	Grenzwert	Wert für Vergleichbarkeit R	Limitwert bei der Produktion (LWP)		Limitwert bei der Abnahme (LWA)	
					min.	max.	min.	max.
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662	mg/kg	24	13,2*		16		32
Säurezahl	DIN EN 14104	mg KOH/g	2,0	0,06		1,96		2,04
Oxidationsstabilität	DIN EN 14112	h	6	1,79	7,1		4,9	
Phosphorgehalt	DIN EN 14107	mg/kg	12	2,329		10,7		13,4
Wassergehalt	DIN EN ISO 12937	Masse-%	0,075	0,0188		0,0639		0,0861
Schwefelgehalt	DIN EN 20884	mg/kg	10	2,183*		8,7		11,3
Summe Calcium-/Magnesiumgehalt	DIN EN 14538	mg/kg	20	3,25		18,1		21,9

* gemäß DIN EN 14214 Kraftstoffe für Kraftfahrzeuge - Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren - Anforderungen und Prüfverfahren

Die einzuhaltenden Grenzwerte nach der Vornorm DIN V 51605, die Limitwerte für Käufer (LWA) und Verkäufer (LWP) sowie die Analysenergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Der Bereich zwischen LWA und LWP ist farblich abgesetzt.

5.2.1 Gesamtverschmutzung

Der Mittelwert des Parameters Gesamtverschmutzung aller Beprobungen beträgt 19 mg/kg, der Median 15 mg/kg. Das Niveau der Höhe der Gesamtverschmutzung war damit deutlich niedriger als bei der „Beprobung Qualitätssicherung“, siehe Kapitel 5.1.4.1, S. 71. Die Ergebnisse aller untersuchten Kraftstoffproben sind in Abbildung 35 dargestellt. Von 21 der beprobten 39 Ölmühlen wurde zumindest bei einer Beprobung der Limitwert bei der Abnahme überschritten. Die Ölmühlen 3, 4 und 22 hielten bei jeder Beprobung den LWP ein und waren damit immer „auf der sicheren Seite“. Wie bereits bei der „Beprobung Qualitätssicherung“ ist auch bei den teilnehmenden Ölmühlen an der „Beprobung Markttransparenz“ ein steigendes Qualitätsbewusstsein im Untersuchungszeitraum hinsichtlich der Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff zu verzeichnen. 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 der 37 beprobten Ölmühlen den Limitwert bei der Produktion LWP in Höhe von 16 mg/kg, bei der Beprobung 09/2006 unterschritten 31 von 37 beprobten Ölmühlen den LWP.

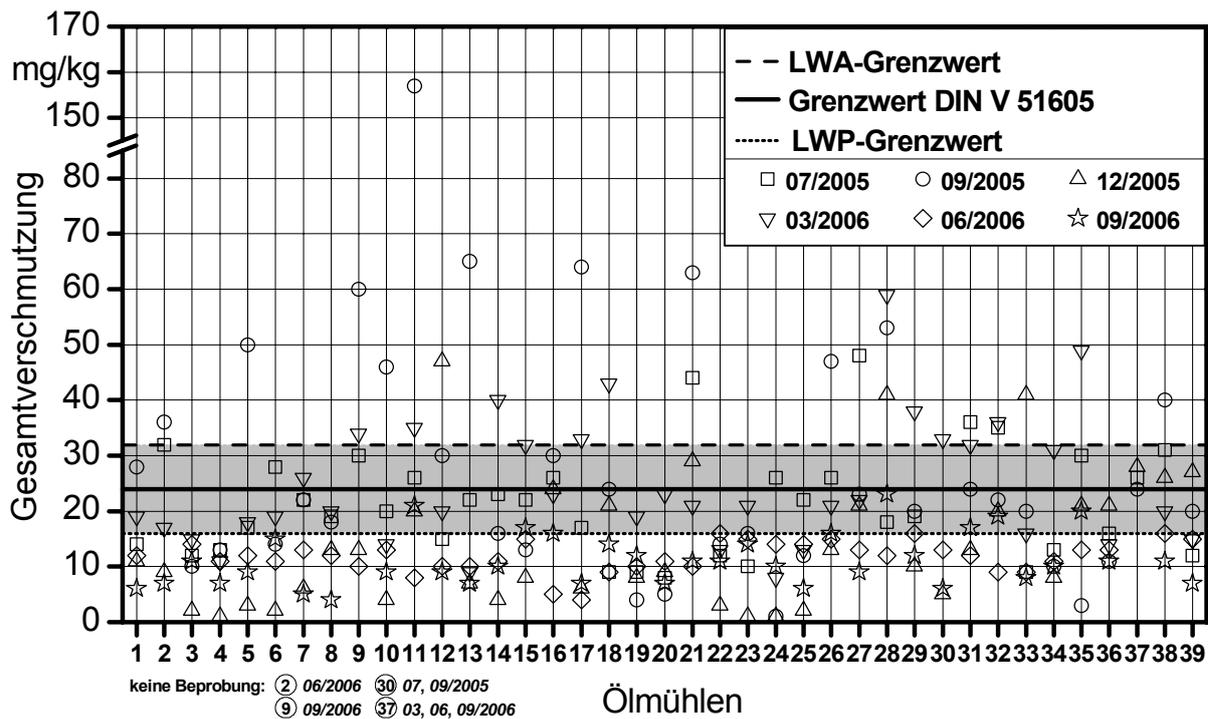


Abbildung 35: Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.2 Säurezahl

Die Säurezahl wird von den beprobten Ölmühlen in den meisten Fällen eingehalten. Abbildung 36 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 Limitwert bei der Produktion für die Säurezahl unterschritt. Die Ölmühlen 18 und 38 verfehlten jeweils bei vier Beprobungen den LWA. Insgesamt lagen 11 Ölmühlen zumindest bei einer Beprobung über dem LWA.

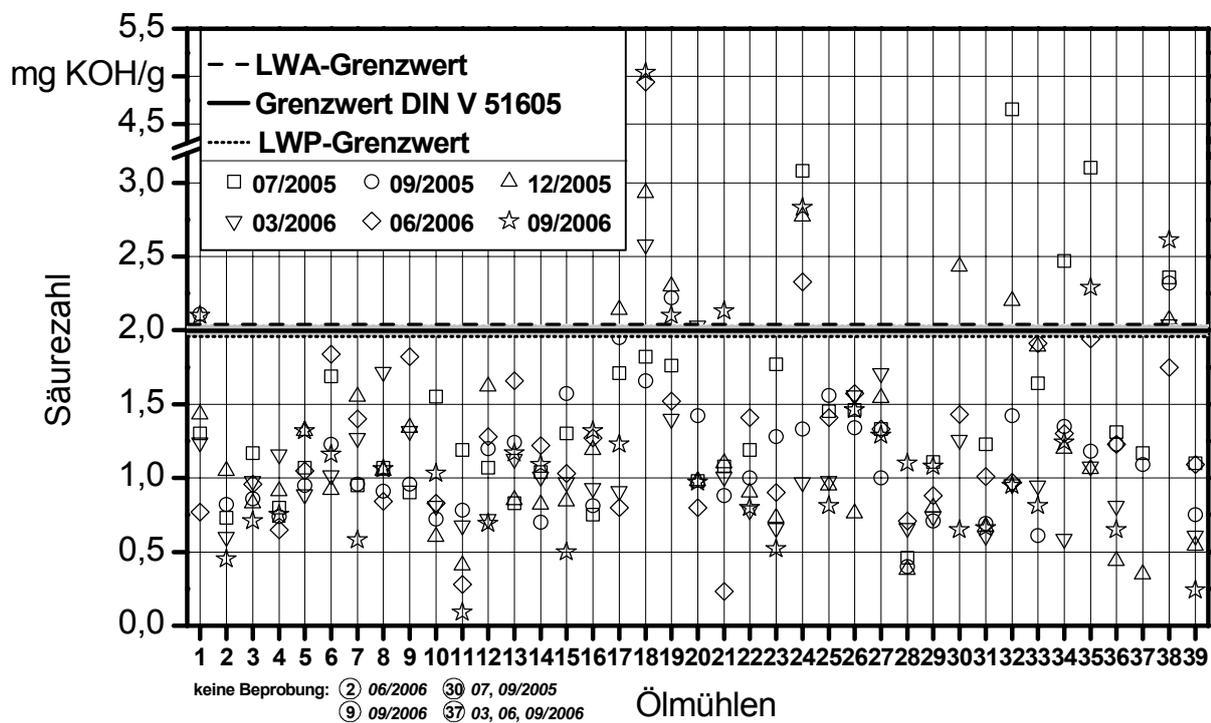


Abbildung 36: Säurezahl (DIN EN 14104) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.3 Phosphorgehalt

Die dauerhafte Einhaltung des Kennwerts Phosphor stellt für 24 von 39 beprobten Ölmühlen kein Problem dar. Neun Ölmühlen hielten bei jeder Beprobung den LWP ein. Der Mittelwert aller analysierten Proben beträgt 9 mg/kg, der Median 8 mg/kg. In Abbildung 37 sind die Phosphorgehalte aller untersuchten Proben dargestellt.

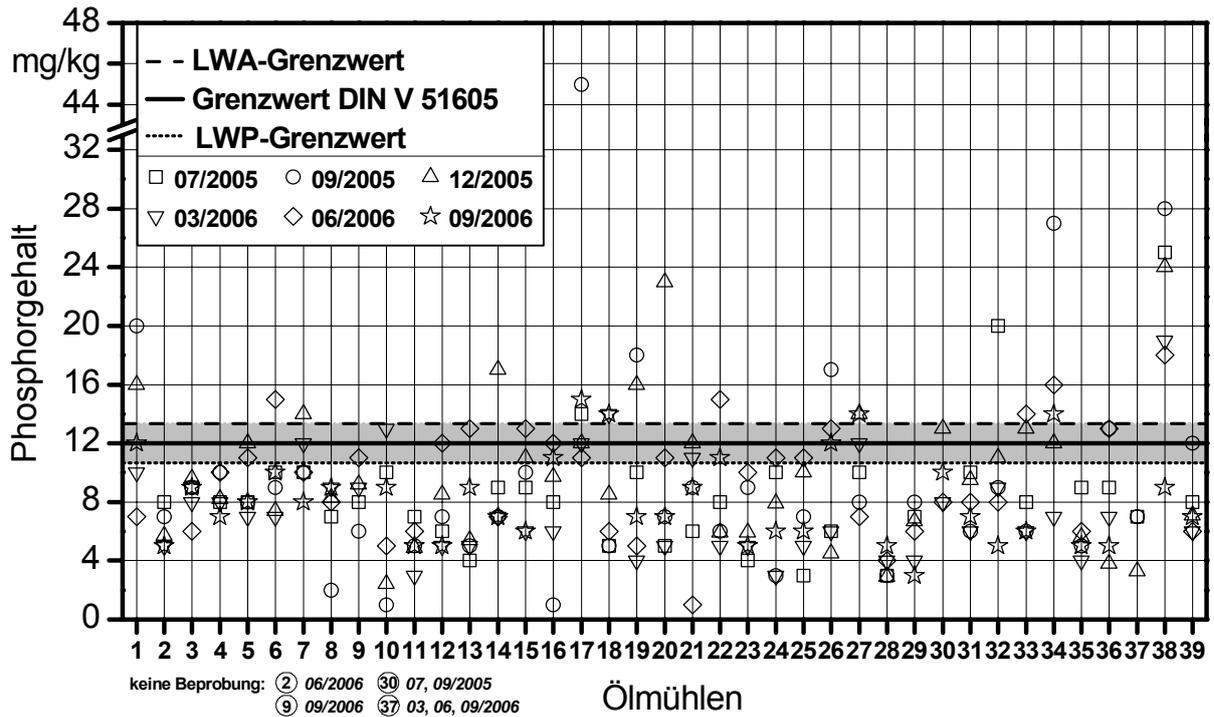


Abbildung 37: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.4 Summengehalt an Calcium und Magnesium

Der Grenzwert für die beiden Elemente Calcium und Magnesium ist ein Summenwert und beträgt gemäß Vornorm DIN V 51605 20 mg/kg. Der Limitwert bei der Produktion für den Summengehalt wurde von fünf Ölmühlen bei jeder Beprobung unterschritten. 19 Ölmühlen hielten stets den Limitwert bei der Abnahme ein. Sehr große Probleme bei der Einhaltung der Anforderungen an den Calcium- und Magnesiumgehalt hatte, wie auch beim Phosphorgehalt, die Ölmühle 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 38 sind die Analysenwerte dargestellt.

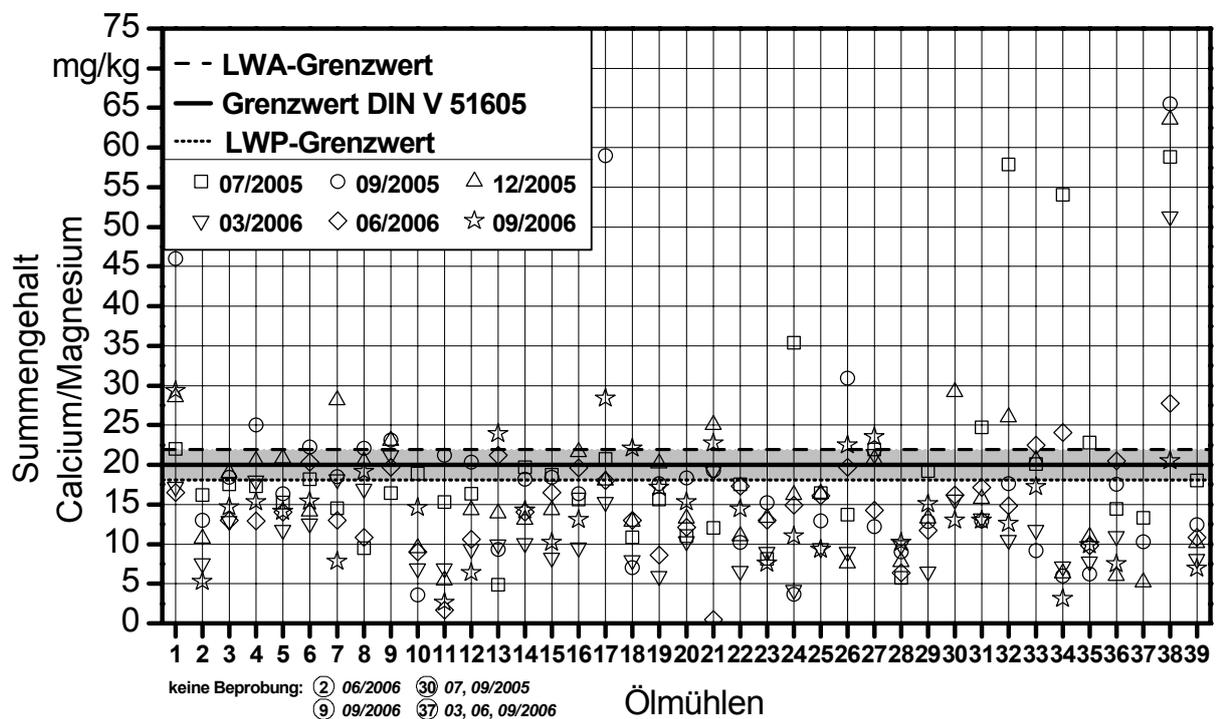


Abbildung 38: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.5 Schwefelgehalt

Der Grenzwert für den Kennwert Schwefelgehalt wird in aller Regel von den beprobten Ölmühlen eingehalten. 33 von 39 Ölmühlen blieben unter dem Limitwert bei der Abnahme (LWA). 11 Ölmühlen erzielten mit allen Kraftstoffproben Analysenwerte für den Schwefelgehalt unter der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens. 27 Ölmühlen konnten die Grenze des Limitwerts bei der Produktion einhalten. Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 39 dargestellt.

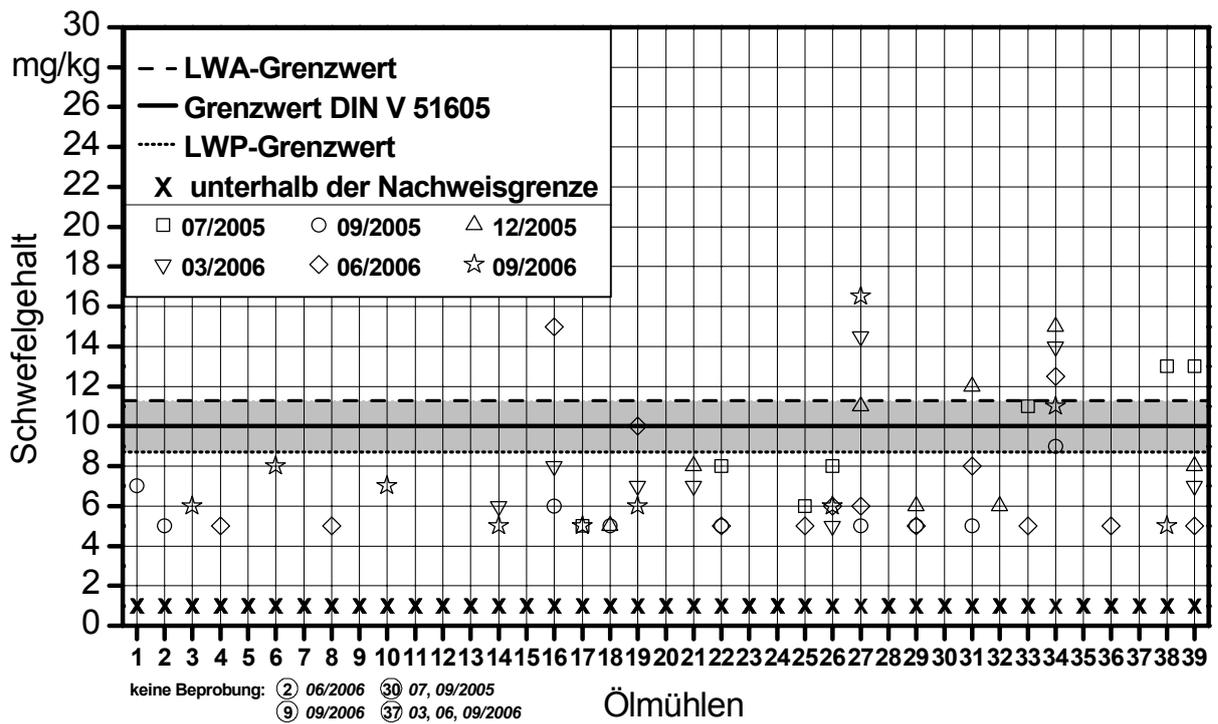


Abbildung 39: Schwefelgehalt (DIN EN ISO 20884) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.6 Oxidationsstabilität

Bei der Überprüfung des Kennwerts Oxidationsstabilität für die erste Beprobung 07/2005 wurden durch das Analyzelabor PetroLab GmbH auffällig niedrige Werte im Vergleich zu bisherigen Erfahrungswerten ermittelt. Eine Überprüfung der Ergebnisse anhand der Rückstellmuster wurde in Auftrag gegeben. Die Werte der Nachanalyse wiesen in der Tendenz deutlich höhere Oxidationsstabilitäten auf. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Ölproben bis zur Nachanalyse bereits gealtert waren. Deshalb wurden die Ergebnisse der Beprobung 07/2005 nicht in die Auswertung mit einbezogen. Neun Ölmühlen produzierten zu den fünf Beprobungsterminen Rapsölkraftstoff mit einer Oxidationsstabilität über dem LWP. Drei Ölmühlen verfehlten zumindest bei einer Beprobung den LWA. Der Mittelwert aller gemessenen Proben beträgt 7,6 h und der Median liegt bei 7,7 h. Die einzelnen Analysewerte für den Kennwert Oxidationsstabilität sind in Abbildung 40 dargestellt.

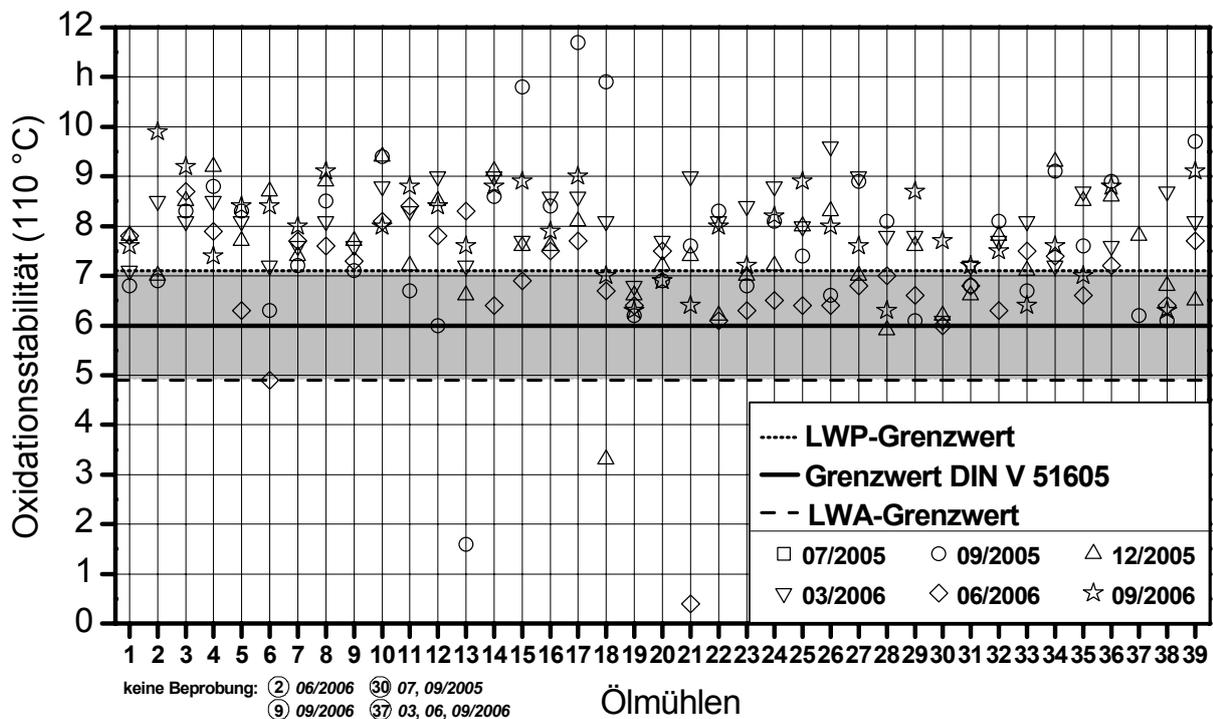


Abbildung 40: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.7 Wassergehalt

Abbildung 41 zeigt die Analysenergebnisse für den Kennwert Wassergehalt bei den untersuchten Rapsölkraftstoffproben. Der Mittelwert aller analysierten Proben beträgt 0,0564 Masse-% und der Median liegt bei 0,0550 Masse-%. Der höchste gemessene Wert beträgt 1,0182 Masse-% und der niedrigste 0,0175 Masse-%. 33 Ölmühlen konnten bei jeder Beprobung den Limitwert bei der Abnahme einhalten. Den Limitwert bei der Produktion unterschritten fünf Ölmühlen bei allen Kraftstoffanalysen.

Eine Überschreitung des Grenzwerts tritt bei fünf der untersuchten 38 Rapsölkraftstoffproben auf. Bei 33 Kraftstoffproben liegen neun Proben unterhalb des Limitwerts bei der Produktion und somit unter dem Wert von 0,0639 Masse-%. Weitere 24 Proben liegen entweder unter dem geforderten Grenzwert von 0,0750 Masse-% beziehungsweise knapp darüber und erfüllen somit noch das Kriterium des Limitwerts bei der Abnahme von 0,0861 Masse-%. Bei den Beprobungen 06/2006 und 09/2006 wurden im Mittelwert deutlich geringere Wassergehalte analysiert als zu Beginn des Untersuchungszeitraums.

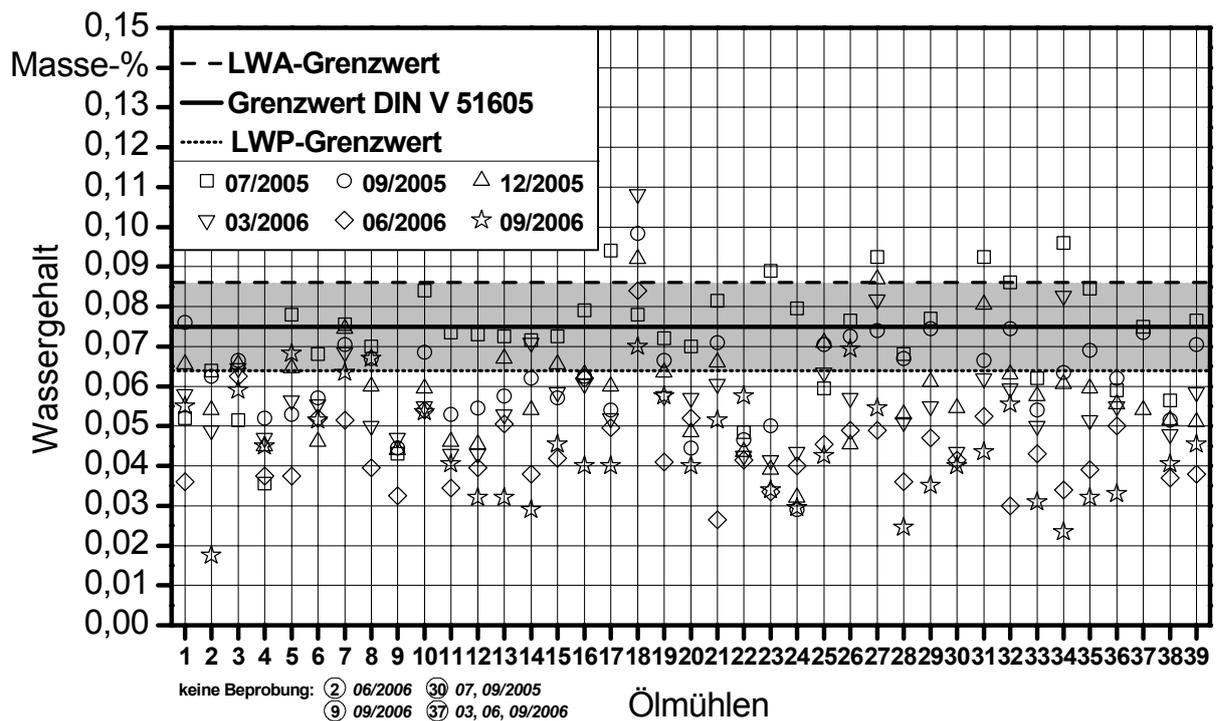


Abbildung 41: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Rapsölkraftstoffproben - „Beprobung Markttransparenz“

5.2.8 Zusammenfassung „Beprobung Markttransparenz“

Die Ergebnisse jeweils drei aufeinanderfolgender Beprobungen wurden zusammengefasst und bewertet. Im Internet wurden

- im März 2006 die besten Ölmühlen der Beprobungen 07/, 09/ und 12/2005,
- im April 2006 die besten Ölmühlen der Beprobungen 09/ und 12/2005 sowie 03/2006,
- im August 2006 die besten Ölmühlen der Beprobungen 12/2005 sowie 03/ und 06/2006 und
- im November 2006 die besten Ölmühlen der Beprobungen 03/, 06/ und 09/2006 veröffentlicht.

Zu allen sechs Beprobungsterminen wurde der Limitwert bei der Abnahme für alle Parameter von folgenden Ölmühlen eingehalten:

- AGROservice Pflanzenöle GmbH & Co. Handels KG,
Dreisesselstraße 1, 94486 OSTERHOFEN
- Ölmühle R. Osterholzer,
Hoisberg 4, 94149 KÖSSLARN
- Rapsölmühle Hohenbrunn AG & Co. OHG,
Königsdorfer Straße 29 b, 82515 WOLFRATSHAUSEN
- St. Wendeler Ölsaaten GmbH & Co. KG,
Werschweilerstraße 40, 66606 ST. WENDEL

Die Ölmühle Ökozentrum Nossen GmbH, Fabrikstr. 4a, 01683 NOSSEN hat nur bei drei Beprobungen 07/, 09/ und 12/2005 teilgenommen, hat aber bei diesen Beprobungen stets den Limitwert bei der Abnahme für alle Parameter eingehalten.

Folgende Ölmühlen haben den Limitwert bei der Abnahme nur in einem Parameter bei sechs Beprobungen nicht eingehalten:

- Hubert Werner,
Altheimer Strasse 3, 88433 SCHEMMERBERG-SCHEMMERHOFEN
- JURAPS GmbH,
Bahnhofstraße 33, 92334 BERCHING
- MARA GmbH & Co. KG,
Lichtenfelser Straße 2, 96275 MARKTZEULN-ZETTLITZ
- Matthäus Wassermann,
Schlossgut, 97618 UNSLEBEN
- Ölmühle Werner,
Elsenberg 10, 91361 PINZBERG
- Pflanzenölmühle Markus Röger,
Helenweg 10, 89407 DILLINGEN-DONAUALTHEIM
- Rapsöl Schmid,
Nordtangente 14, 84453 MÜHLSDORF
- Reg-Energie GmbH & Co. KG, (Ölmühle hat nur an fünf Beprobungen teilgenommen)
Sonnenstraße 4, 85276 PFAFFENHOFEN
- Sedlmayr Ölsaatenverarbeitung GmbH,
Weitenwinterried 2, 86567 HILGERTSHAUSEN-TANDERN
- St. Georgs-Mühle,
Geisenrieder Straße 42, 87616 MARKTOBERDORF
- Trocknungswerk Achsheim e.G.,
Kellerberg 1, 86462 LANDWEID-ACHSHEIM
- Velaro GmbH,
Gewerbegebiet Wenigenauma 3, 07955 AUMA

Einen Überblick über die Einhaltung der Grenzwerte „Limitwert bei der Abnahme“ gibt Abbildung 42.

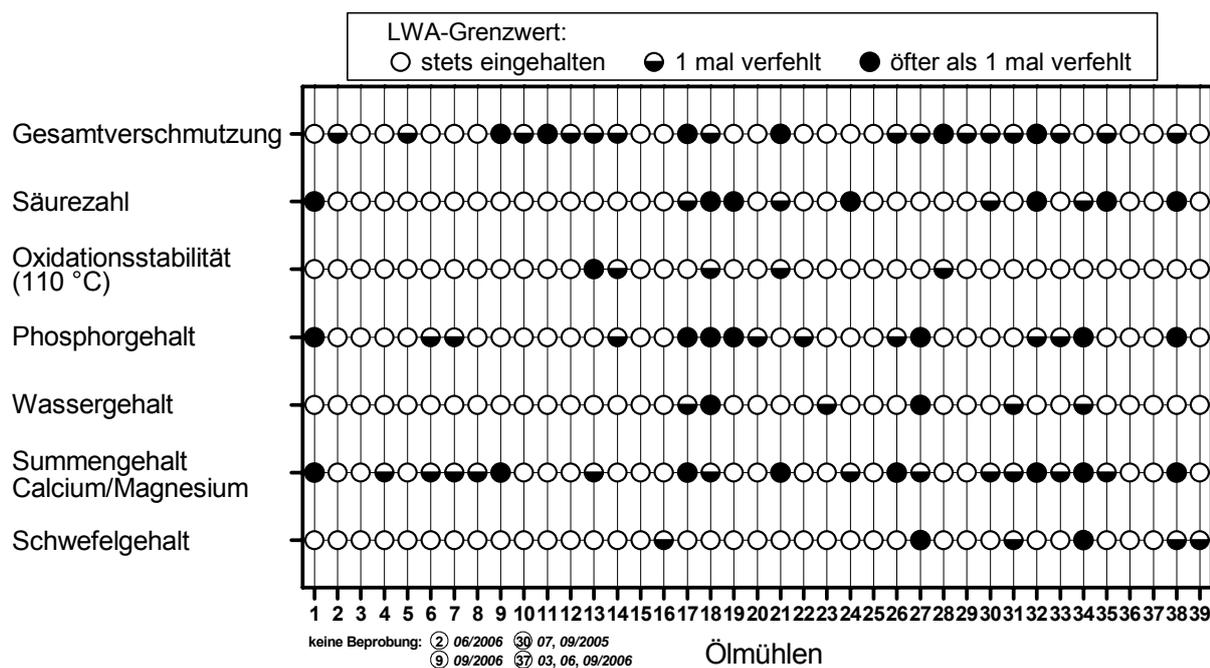


Abbildung 42: Einhaltung der Grenzwerte "Limitwert bei der Abnahme (LWA)" - „Beprobung Markttransparenz“

Bei den ersten drei Beprobungen 07/, 09/ und 12/2005 wurden in Summe über alle Ölmühlen jeweils 30 beziehungsweise 29 Überschreitungen des LWA festgestellt. Nach Veröffentlichung der ersten Beprobungsergebnisse wurden bei den folgenden Beprobungen 03/, 06/ und 09/2006 deutlich bessere Ergebnisse mit 17, 13 und 19 Überschreitungen des LWA registriert. Tabelle 12 zeigt, dass das Qualitätsbewusstsein der Ölmühlenbetreiber im Beprobungszeitraum sich deutlich verbessert hat. Beispielsweise konnten bei den letzten beiden Beprobungen alle beprobten Ölmühlen den Grenzwert für die Gesamtverschmutzung von 24 mg/kg einhalten, die meisten unterschritten sogar den anzustrebenden Limitwert bei der Produktion LWP in Höhe von 16 mg/kg. Mit der regelmäßigen Beprobung wurde eine Sensibilisierung der Ölmühlenbetreiber hinsichtlich einer qualitätsorientierten Produktion erreicht.

Tabelle 12: Anzahl der Ölmühlen, die zu den verschiedenen Auswertungsphasen den LWA eingehalten oder nur einmal nicht eingehalten haben

	Anzahl Ölmühlen			
	Auswertung Beprobungen 07/2005	Auswertung Beprobungen 09/2005	Auswertung Beprobungen 12/2005	Auswertung Beprobungen 03/2006
LWA stets eingehalten	8	9	14	16
LWA einmal nicht eingehalten	12	13	9	13

5.3 Untersuchungen zur Ölgewinnung

Im Folgenden werden Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Einfluss der Rapsorte, des Anteils Besatz, des Anteils unreifer Saat, des Anteils Auswuchs, der Saatschälung und der Temperatur der Trocknungsluft bei der Saattrocknung auf die Rapsölqualität dargestellt. Abschließend wird der Einfluss von Prozessparametern bei der Ölgewinnung auf die Ölqualität in Untersuchungen an Praxisanlagen aufgezeigt.

5.3.1 Einfluss der Rapsorte

5.3.1.1 Eigenschaften der Rapssaat

Fettsäuremuster

Winterrapssorten – Herkunft TLL

Die Fettsäuremuster der untersuchten Winterrapssorten der Ernten 2004 und 2005, die durch die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Standort Buttstedt, zur Verfügung gestellt worden sind, sind in Abbildung 43 und Abbildung 44 dargestellt. Die Ölsäuregehalte der Rapsorten der Ernte 2005 sind tendenziell höher als die der Ernte 2004. Die Sorte Aviso (Ernte 2004) zeigt einen geringeren Gehalt an Ölsäure (C18:1) und dagegen einen etwas erhöhten Gehalt an Linol- und Linolensäure (C18:2 und C18:3). Den höchsten Gehalt an Ölsäure der Rapssaaten im Erntejahr 2004 weist die Sorte Express, im Erntejahr 2005 die Sorte Oase auf.

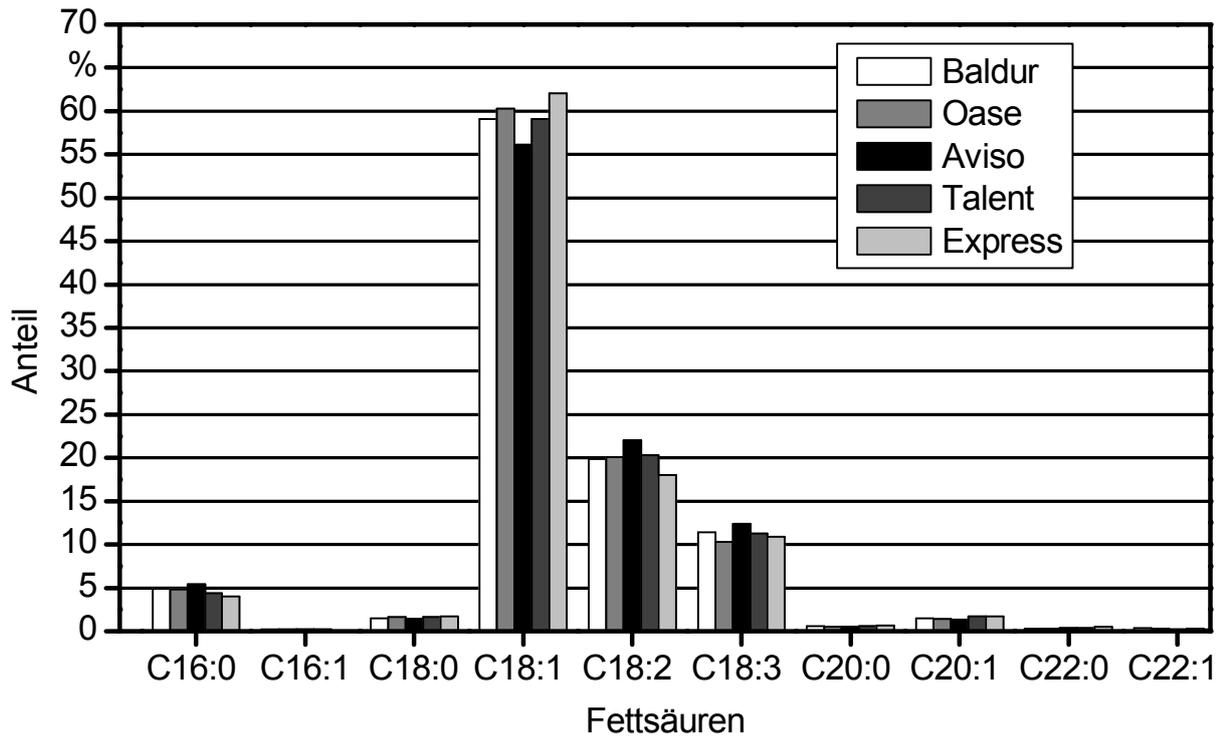


Abbildung 43: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2004 - Herkunft TLL Thüringen

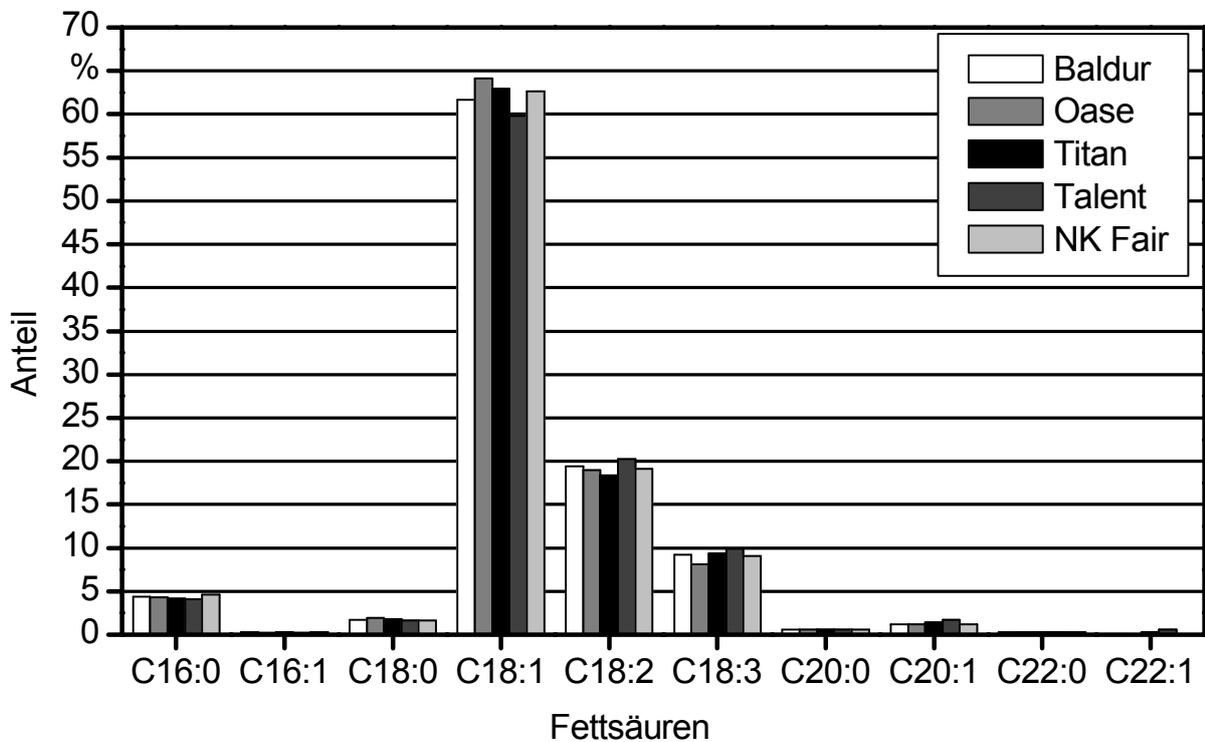


Abbildung 44: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2005 - Herkunft TLL Thüringen

Winterrapssorten – Herkunft LfL

In Abbildung 45 und Abbildung 46 sind die Fettsäuremuster der Winterrapssorten der Ernten 2004 und 2005 der LfL, Standort Oberhummel, dargestellt. Die Gehalte an Ölsäure der Rapssorten der Ernte 2005 sind, wie bereits bei den Rapssorten der Herkunft TLL, vergleichsweise höher als 2004. Der Gehalt an Ölsäure (C18:1) ist auch hier bei der Sorte Aviso (Ernte 2004) geringer, als bei den anderen Winterrapssorten. Der Anteil an Linolsäure (C18:2) und an Linolensäure (C18:3) ist ebenfalls durchschnittlich höher als bei den anderen untersuchten Sorten. Die Sorte Oase weist geringfügig höhere Gehalte an Ölsäure auf als die anderen Sorten.

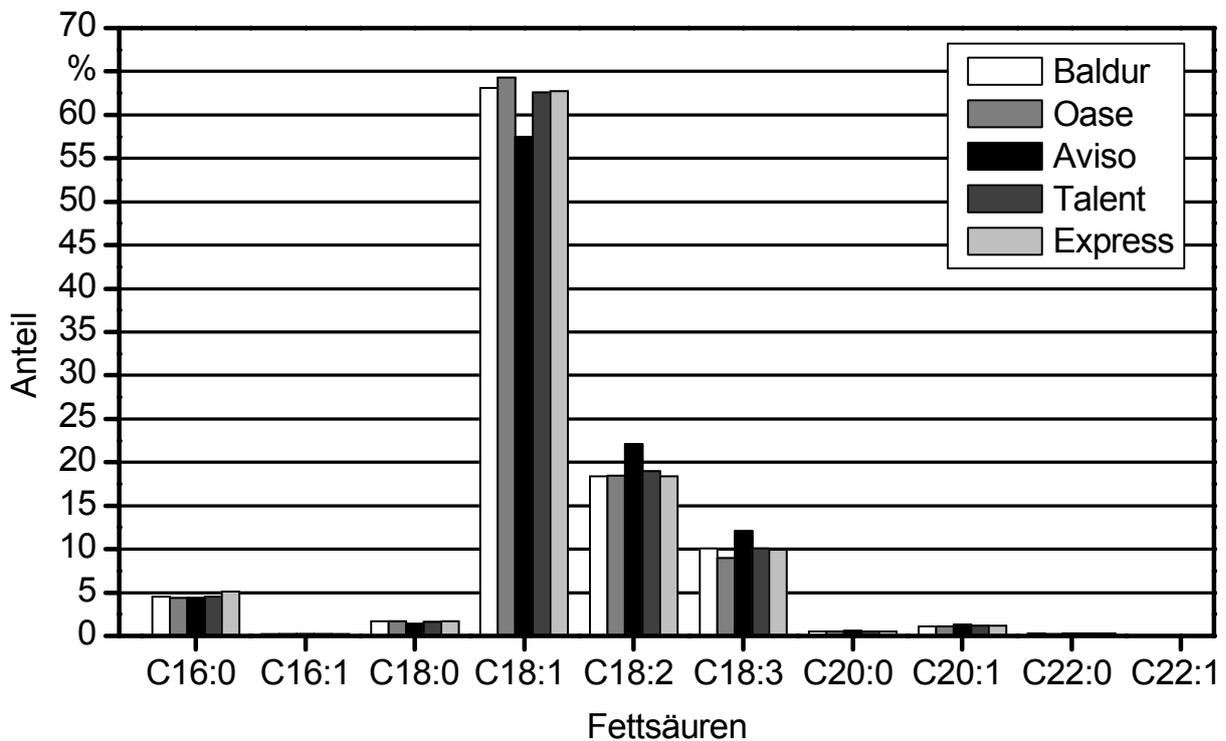


Abbildung 45: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2004 - Herkunft LfL Bayern

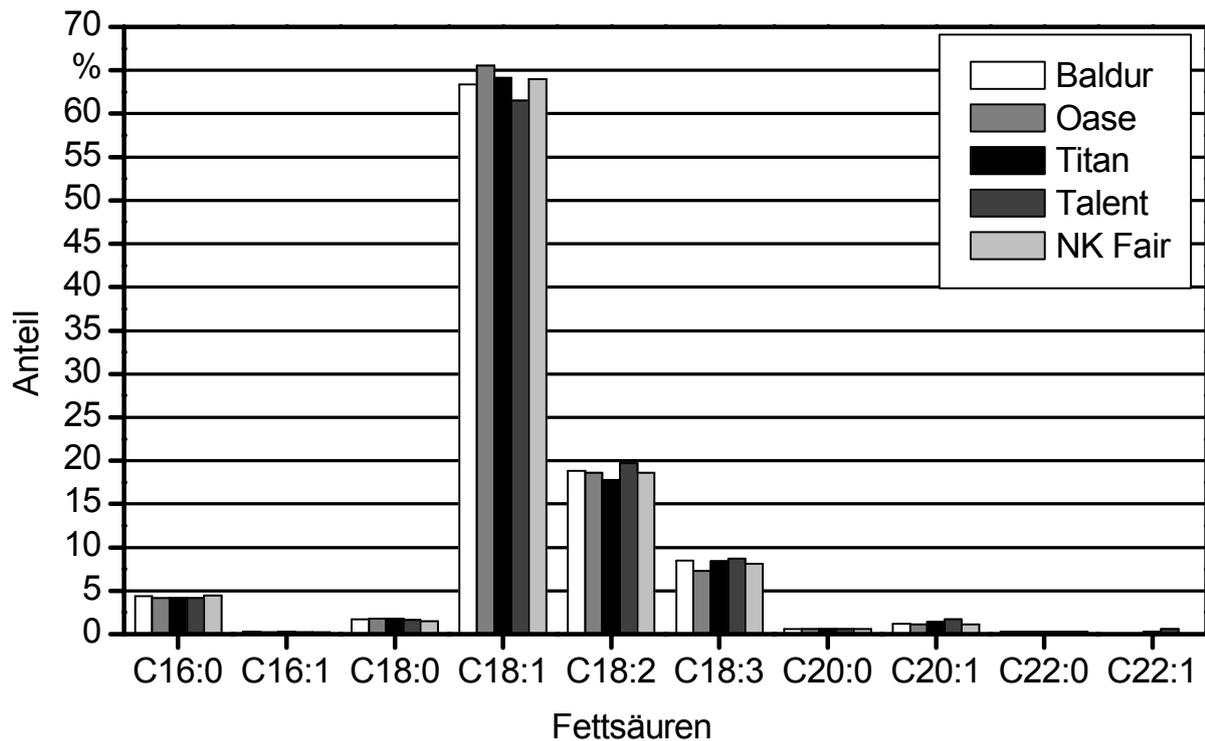


Abbildung 46: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Winterrapssorten Ernte 2005 - Herkunft LfL Bayern

Sommerrapssorten – Herkunft LfL und TLL

Die für die Untersuchungen ausgewählten Sommerrapssorten Senator und Nex 160 unterscheiden sich einzig durch den sehr hohen Anteil an Ölsäure der High-Oleic-Sommerrapssorte Nex 160. Die Anteile der verschiedenen Fettsäuren der untersuchten Sommerrapssorten der beiden Herkünfte LfL und TLL sind in Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellt.

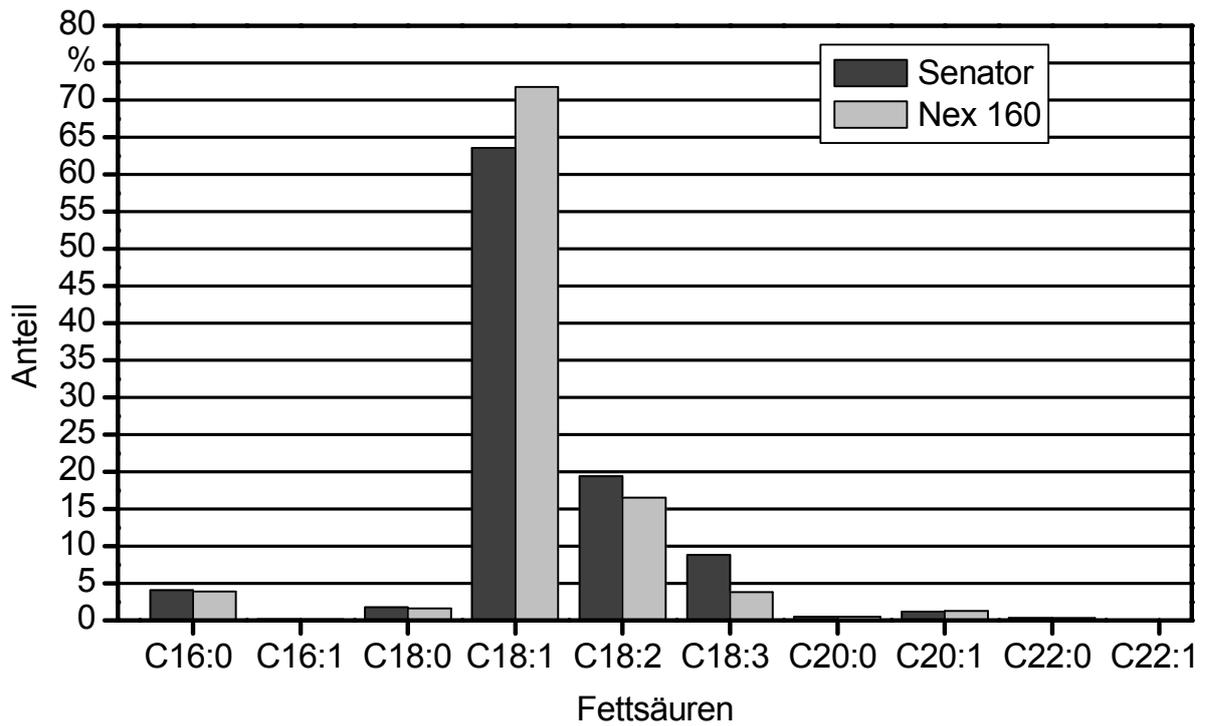


Abbildung 47: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Sommerrapsorten Ernte 2004 - Herkunft LfL Bayern

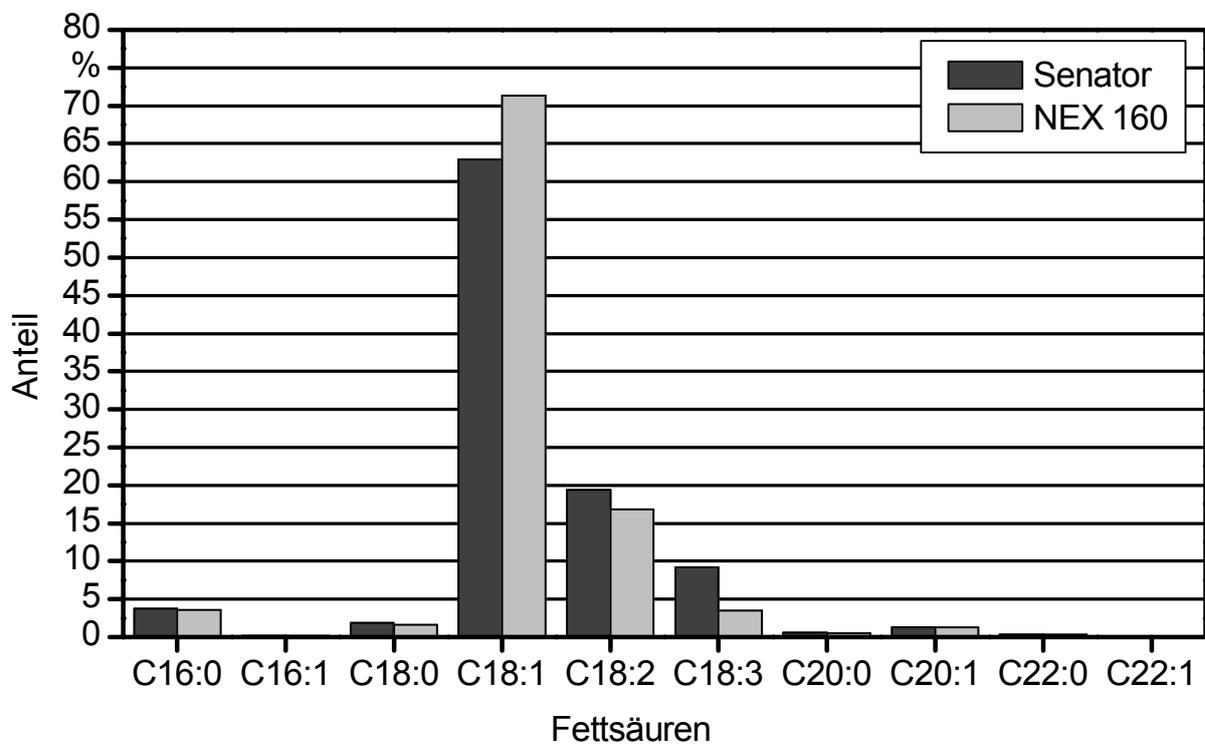


Abbildung 48: Fettsäuremuster (DIN EN 14103) der Sommerrapsorten Ernte 2005 - Herkunft TLL Thüringen

Säurezahl

Die Säurezahl der untersuchten Saatproben der verschiedenen Rapssorten ist in Abbildung 49 dargestellt. Der Mittelwert für die Säurezahl der Winterrapssorten beider Standorte der Ernte 2004 liegt bei 1,0 mg KOH/g, für die Ernte 2005 bei 0,2 mg KOH/g. Die Säurezahl der Rapssaart zeigt eine Abhängigkeit vom Erntejahr. Der Analysewert für die Sommerrapssorte Senator der Ernte 2004 mit 1,97 mg KOH/g ist im Vergleich zu den anderen Proben deutlich erhöht.

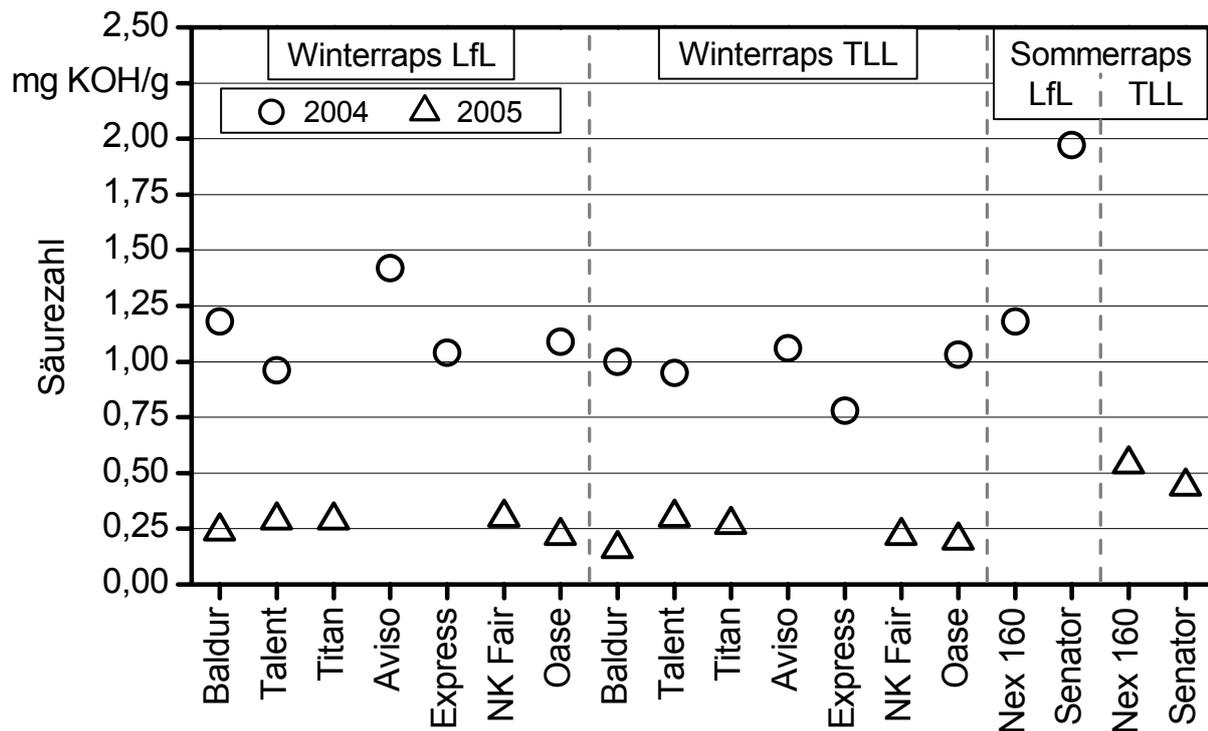


Abbildung 49: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaartproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Wassergehalt

Die Gehalte an Wasser in den untersuchten Rapssaatproben verschiedener Rapssorten zeigt die Abbildung 50. Es ist zu erkennen, dass einige Saatpartien für eine Verarbeitung durch Kaltpressung tendenziell zu trocken sind. Der von WIDMANN (1994) [56] beschriebene günstige Wassergehalt der Rapssaat für die Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen liegt zwischen 6,5 und 7,5 Masse-%.

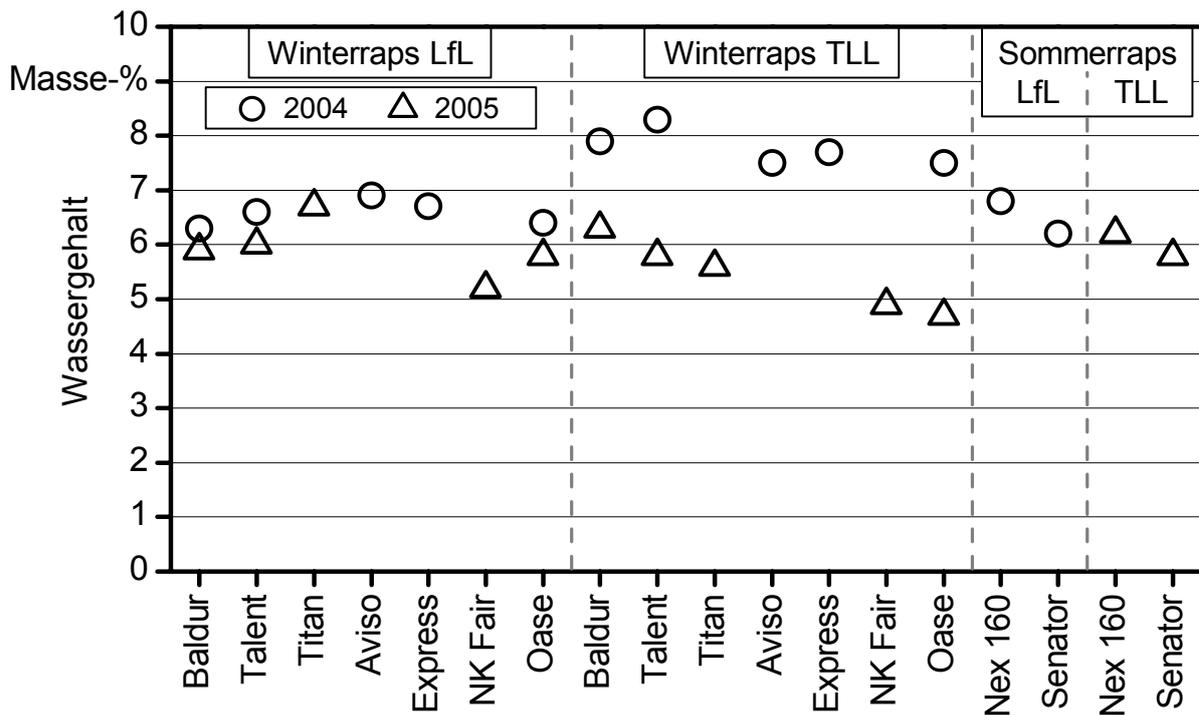


Abbildung 50: Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Ölgehalt

Die Ölgehalte der untersuchten Winter- und Sommerrapssorten sind in der Abbildung 51 dargestellt. Die Ölgehalte der Sorten, die durch die LfL zur Verfügung gestellt wurden, liegen in der Tendenz über den Werten derer, die von der TLL bereitgestellt wurden. Dies kann durch die unterschiedlichen Standorte erklärt werden. Auffällig sind die sehr hohen Ölgehalte der Sorte Oase und die geringen Abweichungen im Ölgehalt zwischen den beiden Erntejahren bei der Sorte Baldur. Die Ölgehalte der Sommerrapssorte Senator liegen deutlich unter den Ölgehalten der Winterrapssorten. Vergleichsweise deutlich höhere Ölgehalte wurden mit der High-Oleic-Sommerrapssorte Nex 160 erzielt.

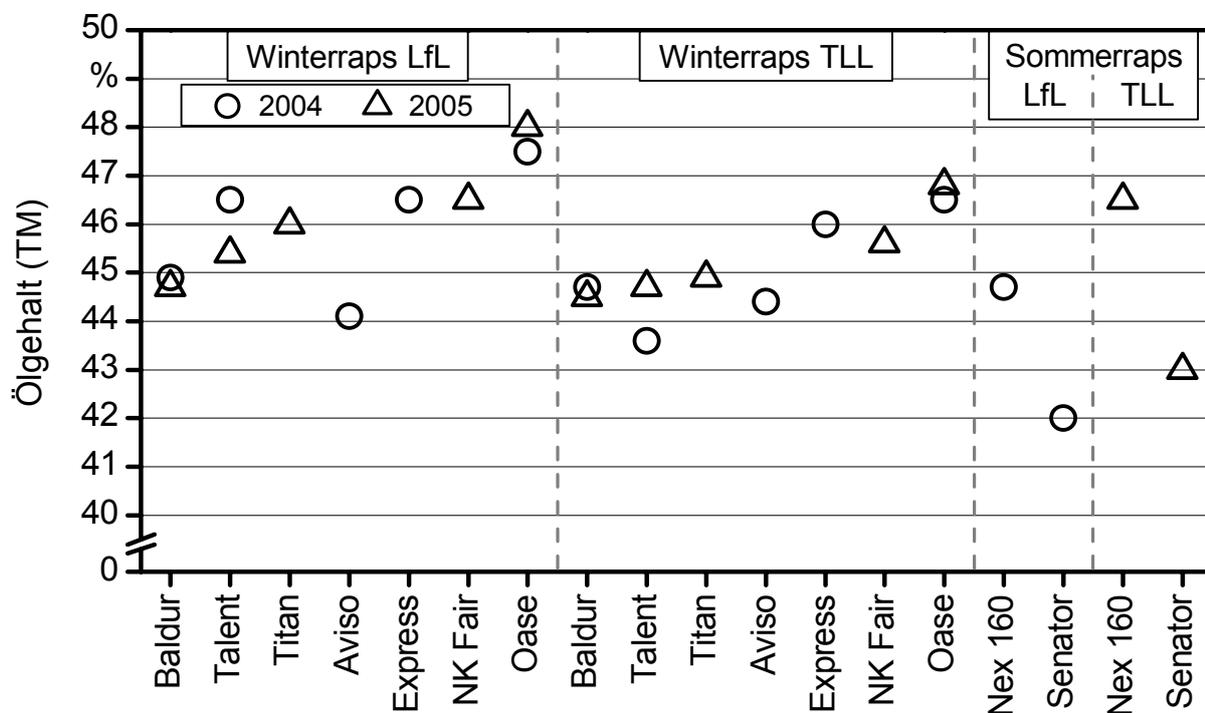


Abbildung 51: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

5.3.1.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

Die ermittelten Analysewerte für den Kennwert Säurezahl der verarbeiteten Winter- und Sommerrapssorten sind in folgender Abbildung 52 zu sehen. Die untersuchten Werte sind insgesamt sehr niedrig, wie bereits auch schon die Werte der Säurezahl der Saatproben zeigten. Alle Werte liegen unter dem geforderten Grenzwert von 2 mg KOH/g. Die gemessenen Säurezahlen in der Saat korrelieren nicht mit den gemessenen Säurezahlen im Öl. Der Mittelwert aller untersuchten Sorten beträgt 0,29 mg KOH/g.

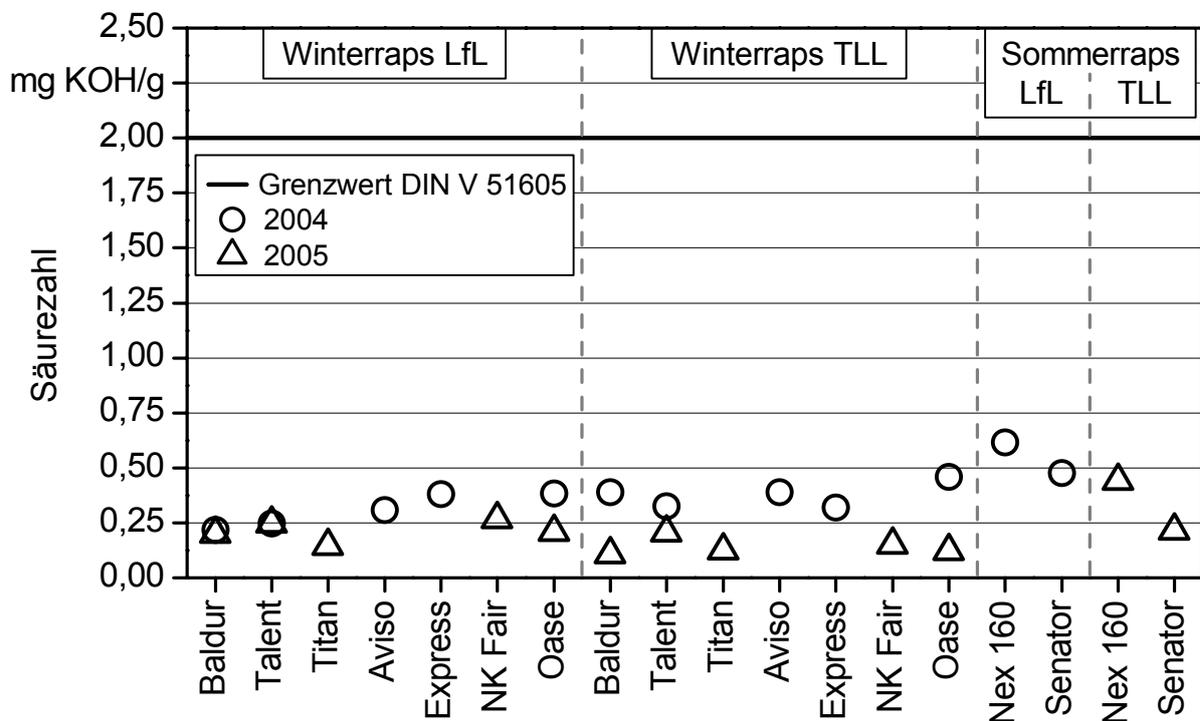


Abbildung 52: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Oxidationsstabilität

Die Werte für die Oxidationsstabilität (110 °C) liegen alle über dem geforderten Grenzwert von 6 h. Öle, die aus Rapssorten 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, was durch höhere Anteile an Linol- und Linolensäure (C18:2 und C18:3) begründet werden kann. 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. Die Oxidationsstabilität der gewonnenen Öle zeigt Abbildung 53.

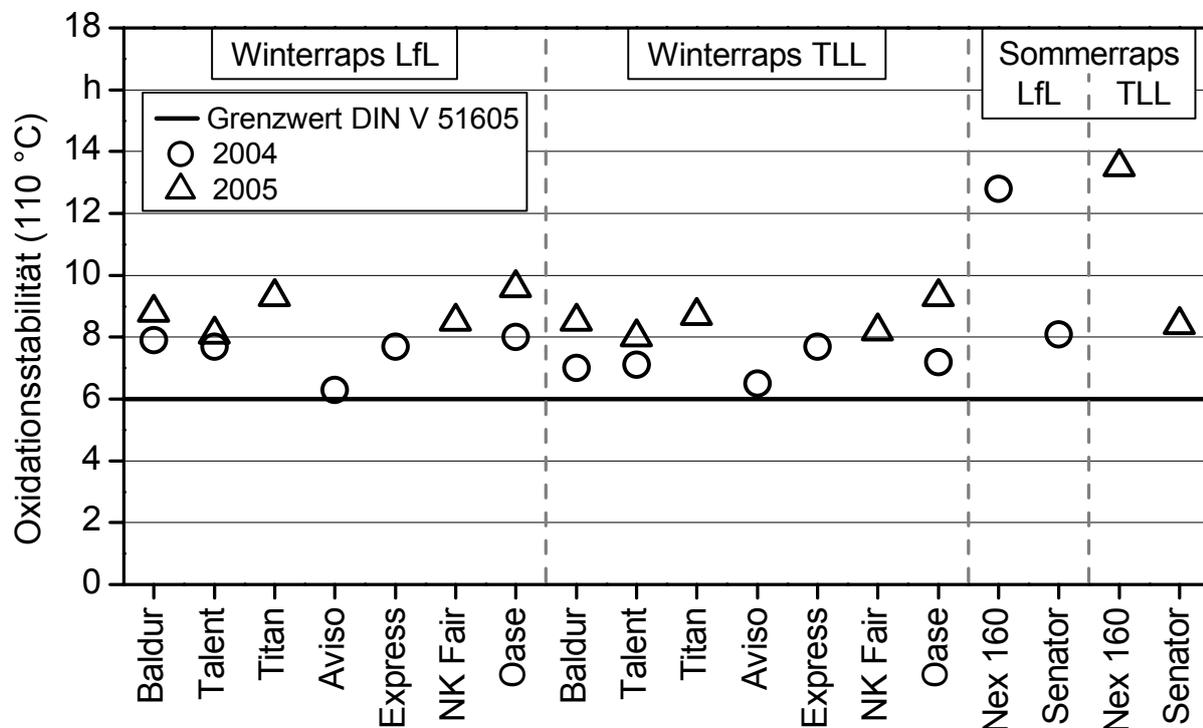


Abbildung 53: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Iodzahl

Die Iodzahl ist das Maß für die Anzahl an Doppelbindungen der Fettsäuremoleküle im Öl und gibt an, wie viel Gramm Iod von 100 g Öl gebunden werden. Von der Höhe der Iodzahl lassen sich Rückschlüsse auf die Oxidationsanfälligkeit eines Öls ableiten. Bedingt durch den vergleichsweise höheren Anteil an Linol- und Linolensäure, weist die Sorte Aviso eine höhere Iodzahl auf. In Folge dessen war trotz gleicher Lagerungsbedingungen das Öl aus der Sorte Aviso, wie Abbildung 53 zeigt, nicht mehr in dem gleichen Maße oxidationsstabil wie die Öle, die aus den andere Sorten gewonnen wurden. Der höhere Anteil an Ölsäure der Sommerrapssorte Nex 160 hat im Gegenzug eine geringere Iodzahl zur Folge und bewirkt, dass das Öl aus der Sorte Nex 160 weniger oxidationsanfällig als andere Öle ist. Bei allen untersuchten Sorten liegen die Werte für die Iodzahl innerhalb des minimalen und maximalen Grenzwerts von 95 beziehungsweise 125 g Iod/100 g. Der Mittelwert für die Iodzahl von 114 g Iod/100 g für die Sorten der Ernte 2004, liegt über dem Mittelwert für die Iodzahl in Höhe von 110 g Iod/100 g für die Sorten der Ernte 2005. Alle analysierten Werte für den Kennwert Iodzahl sind in Abbildung 54 dargestellt.

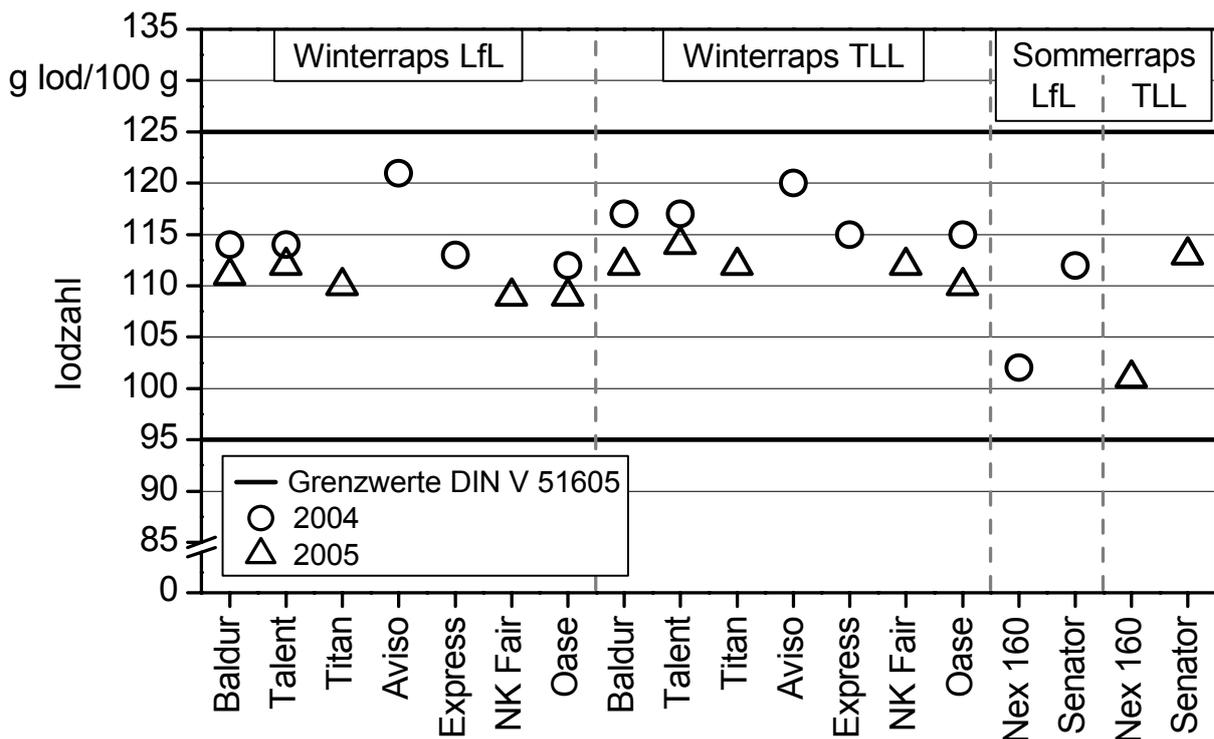


Abbildung 54: Iodzahl (DIN EN 14111) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Wassergehalt

Der Wassergehalt der gewonnenen Rapsölkraftstoffe aus den unterschiedlichen Sorten ist in Abbildung 55 dargestellt. Keine der untersuchten Proben überschreitet den Grenzwert von 0,075 Masse-%. Ein Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt der Ölsaaten, wie in Abbildung 50, S. 99 gezeigt, und dem Wassergehalt im Öl ist nicht zu erkennen.

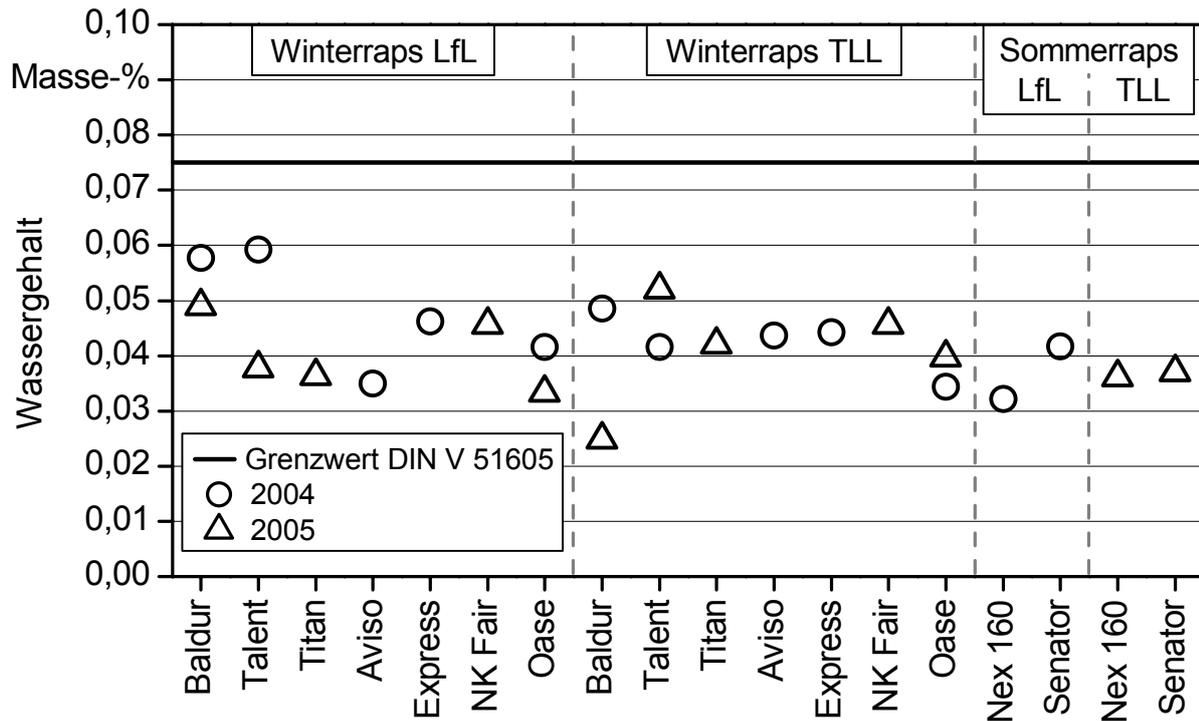


Abbildung 55: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Phosphorgehalt

Der Phosphorgehalt der Rapsöle liegt bei allen verarbeiteten Sorten deutlich unterhalb des geforderten Grenzwerts von 12 mg/kg. Bei allen Ölen, die aus Winterraps der bayerischen Standorte (LfL) gewonnen wurden, liegt der Wert sogar unter der Nachweisgrenze. Die wenigen Ölproben aus Sommerrapsorten weisen auf geringem Niveau vergleichsweise höhere Phosphorgehalte auf. Die Analysewerte sind in Abbildung 56 dargestellt.

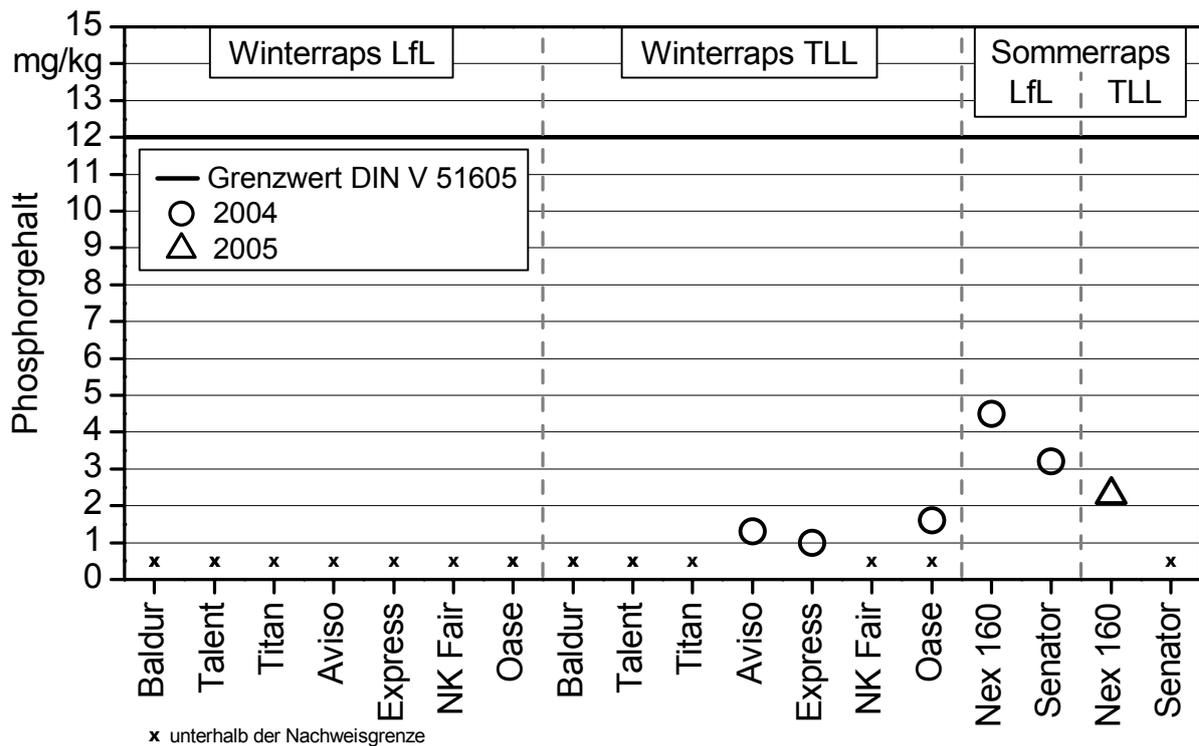


Abbildung 56: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben verschiedener Rapsorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Calcium- und Magnesiumgehalt

In Ölen aus den Rapssorten der Ernte 2004 wurden vergleichsweise höhere Gehalte an Calcium und Magnesium gemessen, als in den Ölen der Ernte 2005. Die Einzelergebnisse verdeutlicht Abbildung 57. Wie bereits beim Phosphorgehalt festgestellt, weisen Öle aus Sommerrapssorten auch hinsichtlich Calcium und Magnesium höhere Gehalte auf als Öle aus Winterrapssorten. Das Niveau des Gehalts an Calcium ist höher als das Niveau für den Phosphorgehalt. Die Gehalte an Magnesium sind deutlich geringer.

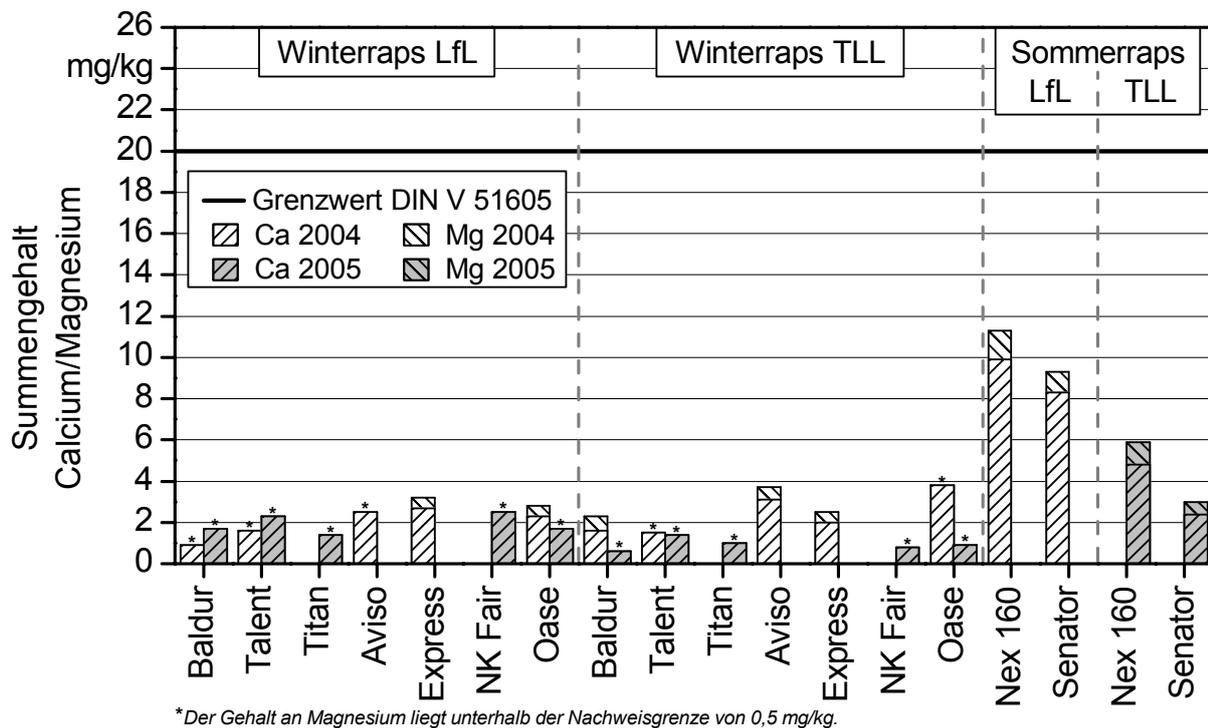


Abbildung 57: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben verschiedener Rapssorten von unterschiedlichen Standorten der Erntejahre 2004 und 2005

Schwefelgehalt

Der Schwefelgehalt der gewonnenen Rapsöle liegt bei allen Sorten unterhalb der Nachweisgrenze in Höhe von 5 mg/kg und daher auch deutlich unterhalb des Grenzwerts von 10 mg/kg.

5.3.2 Einfluss des Anteils an Besatz in der Rapssaat

5.3.2.1 Eigenschaften der Rapssaat

Besatz in der Rapssaat kann zu einer Erhöhung der Säurezahl führen. Die Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Erhöhung des Anteils an Besatz in der Rapssaat keinen linearen Anstieg der Säurezahl bewirkt. Abbildung 58 zeigt die Säurezahl von vier unterschiedlichen Rapssaatproben mit unterschiedlichen Anteilen an Besatz.

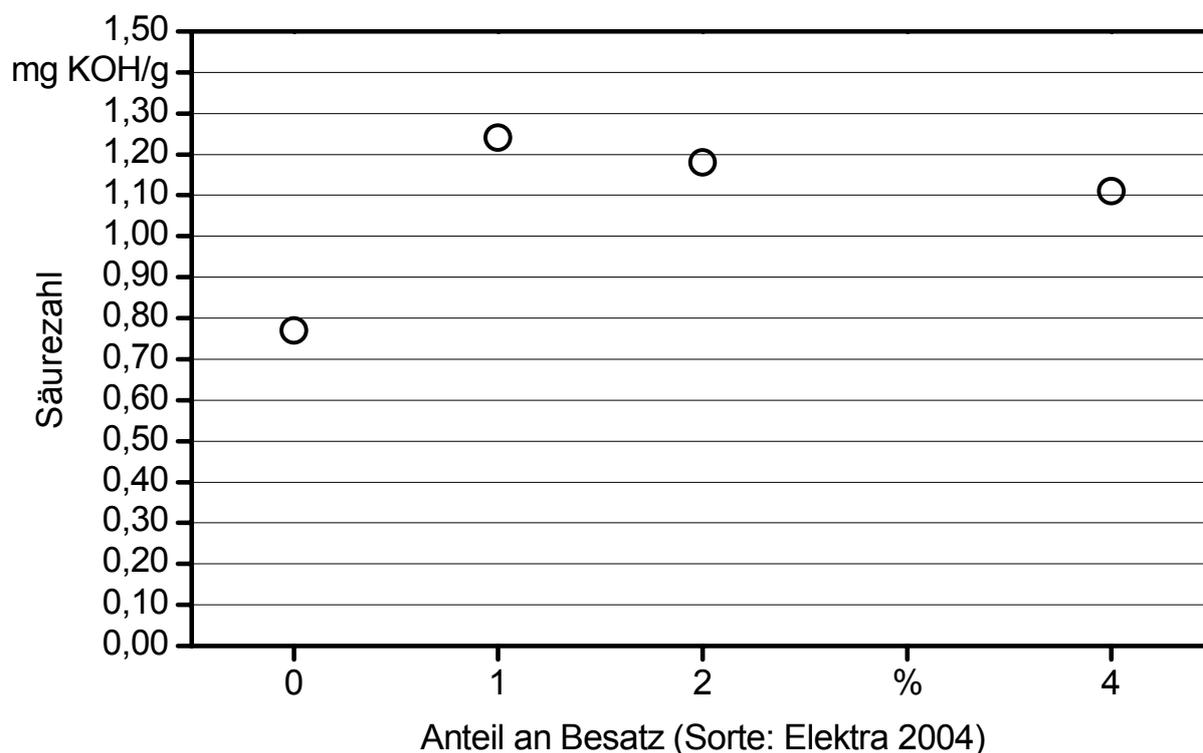


Abbildung 58: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz

Der Wassergehalt der Rapssaatproben wird durch den Anteil an Besatz nicht merklich beeinflusst. Alle vier Rapssaatproben weisen einen Wassergehalt von etwa 7 Masse-% auf. Die Analysenergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 59 dargestellt.

Der Ölgehalt dieser vier untersuchten Rapssaatproben nimmt erwartungsgemäß mit zunehmendem Anteil an Besatz geringfügig ab. Abbildung 60 zeigt die Werte für den Ölgehalt der untersuchten Rapssaatproben.

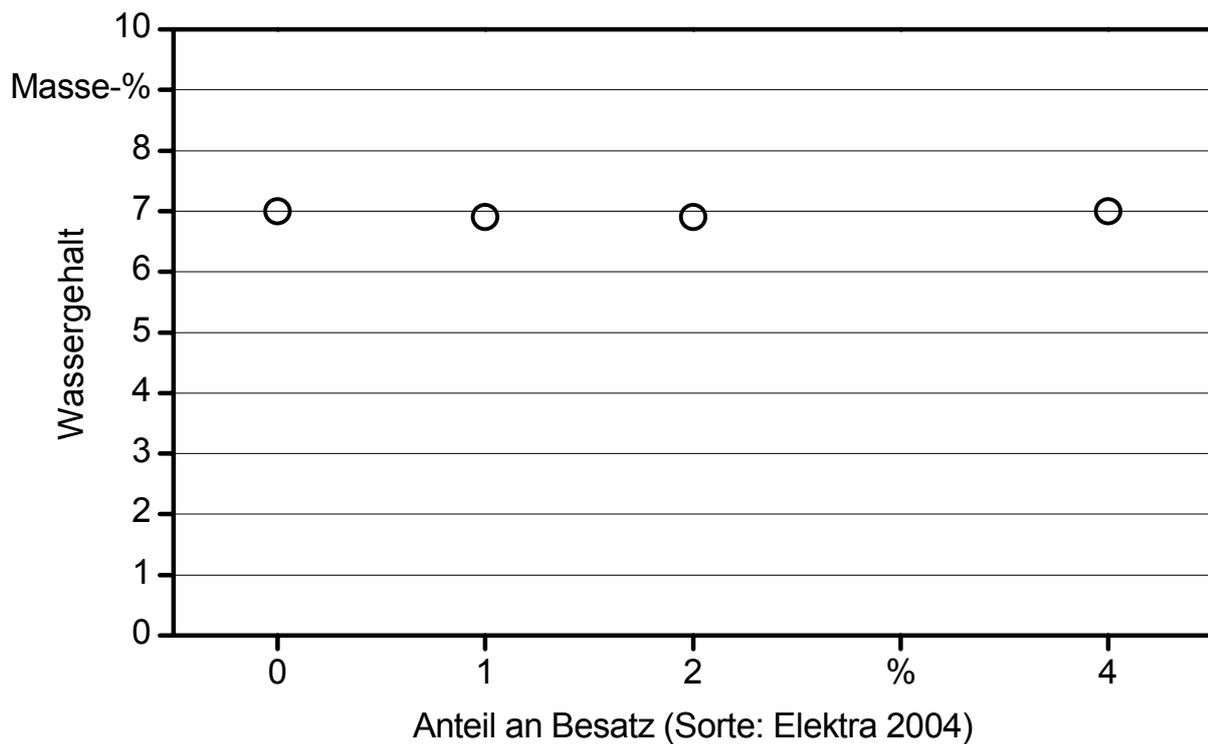


Abbildung 59: Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz

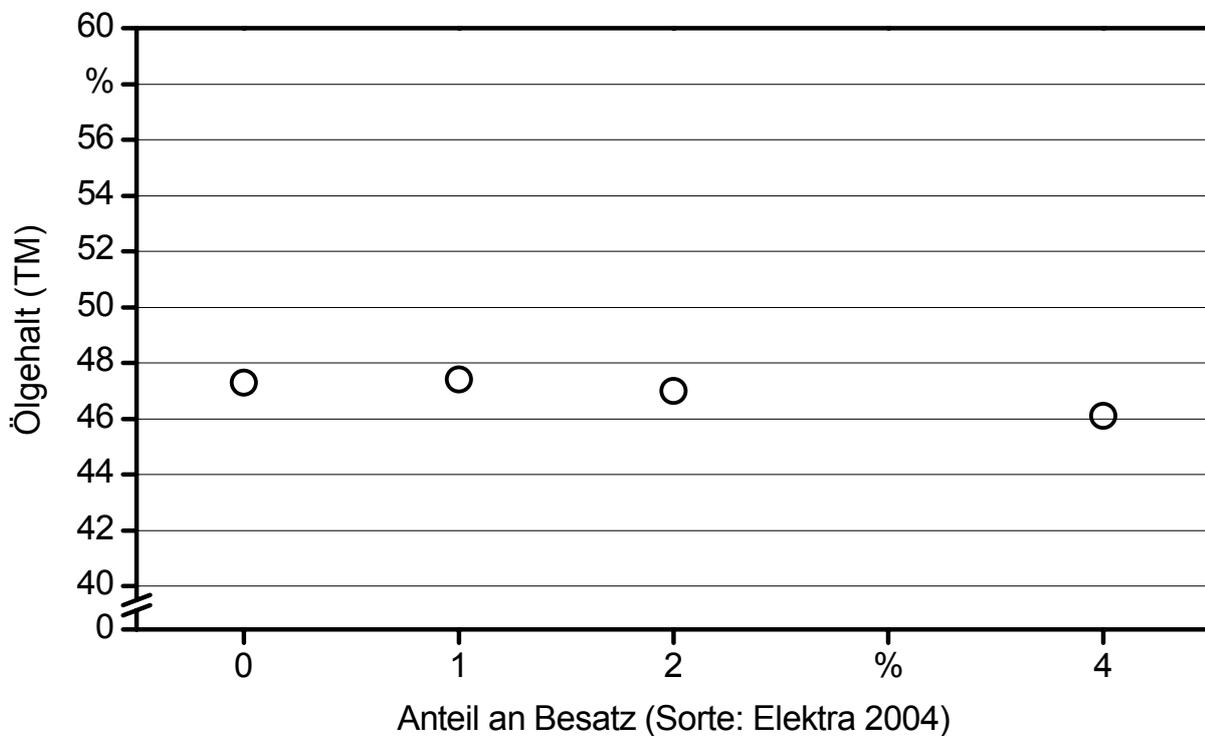


Abbildung 60: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Besatz

5.3.2.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

Die Säurezahl der vier gewonnenen Rapsöle erhöht sich mit zunehmendem Anteil an Besatz in der Rapssaat. Die gemessenen Werte für die Säurezahl sind vergleichsweise niedrig und liegen deutlich unter dem Grenzwert von 2 mg KOH/g für Rapsölkraftstoff. In Abbildung 61 sind die Werte für den Kennwert Säurezahl im Rapsöl dargestellt.

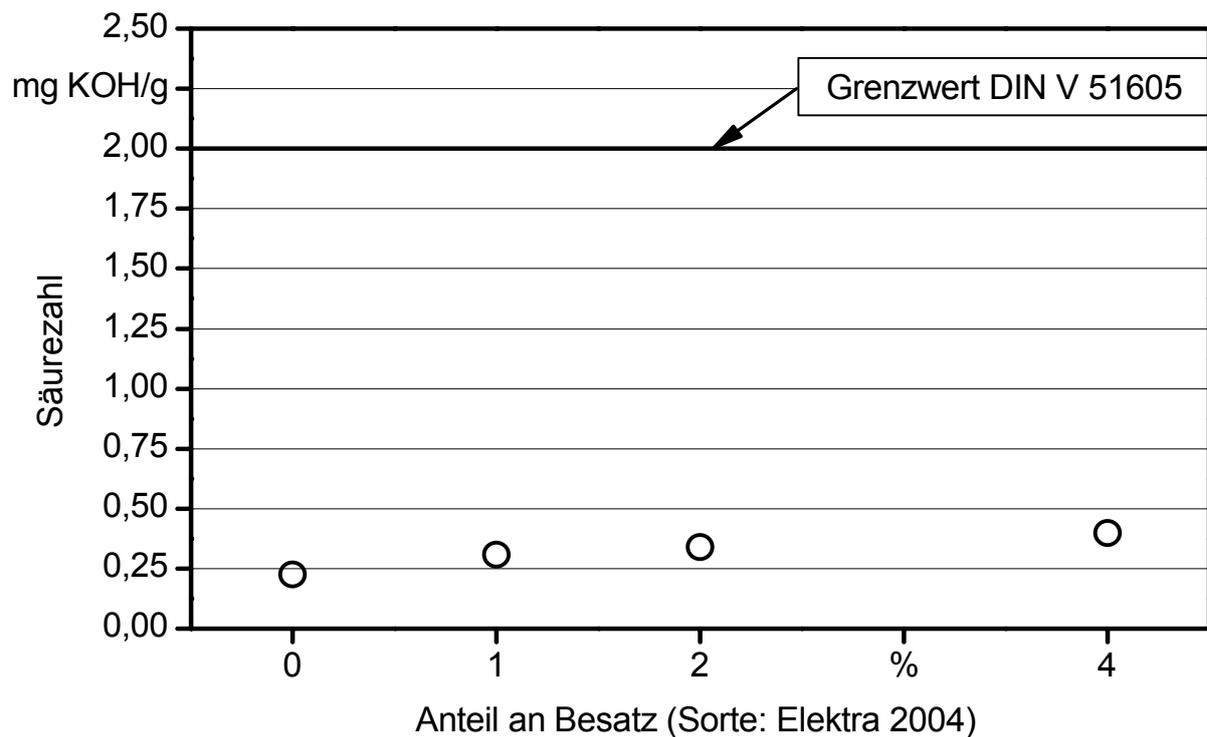


Abbildung 61: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz

Oxidationsstabilität

Die Messwerte für die Oxidationsstabilität (110 °C) der untersuchten Rapsöle mit einem Anteil an Besatz in der Rapssaat sind gegenüber der Vergleichsvariante ohne Besatz geringfügig niedriger. Alle untersuchten Öle erfüllen den geforderten Grenzwert von 6 h für Rapsölkraftstoff, gemäß der DIN V 51605. Abbildung 62 zeigt die analysierten Werte für die Oxidationsstabilität.



Abbildung 62: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz

Phosphorgehalt

Die gemessenen Gehalte an Phosphor in den Ölen bewegen sich auf sehr niedrigem Niveau, oder liegen unter der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens. Der Gehalt an Phosphor im Öl wird durch den Anteil an Besatz in der Rapssaat in der vorliegenden Untersuchung nicht beeinflusst. Der geforderte Grenzwert von 12 mg/kg wird von keinem der analysierten Öle überschritten. In Abbildung 63 sind die Phosphorgehalte der untersuchten Ölproben dargestellt.

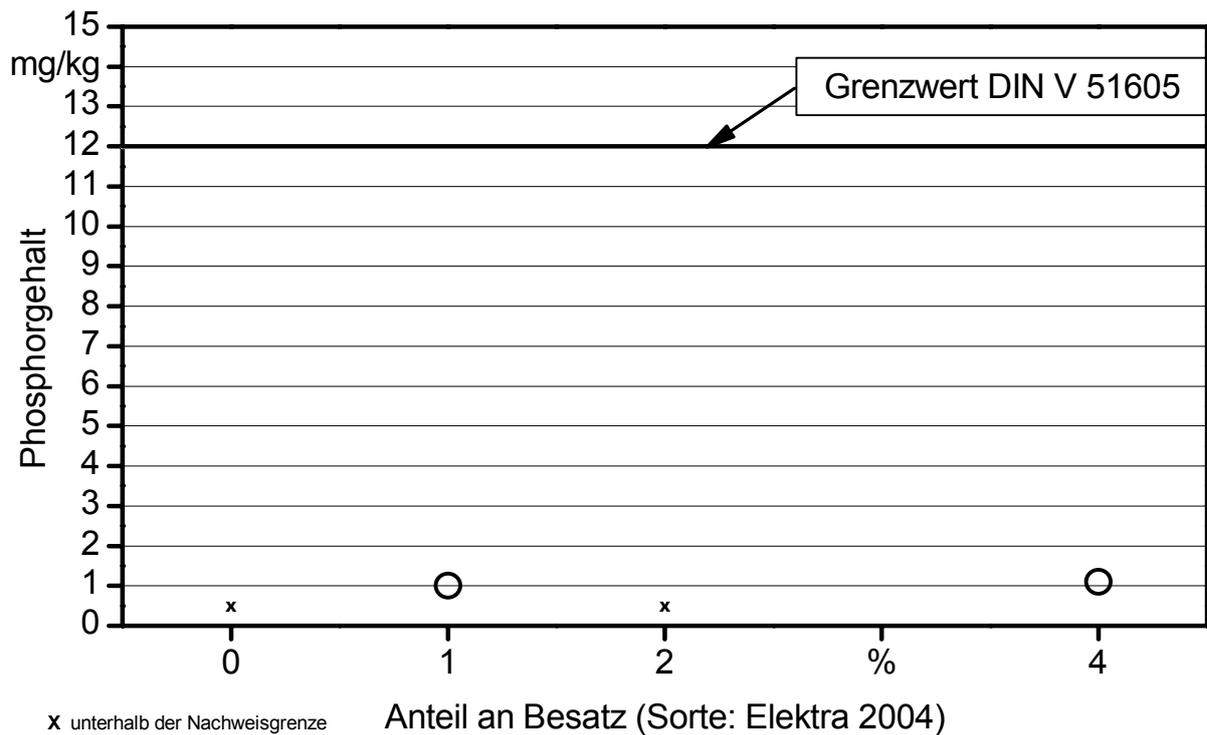


Abbildung 63: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz

Calcium- und Magnesiumgehalt

Der Summengehalt an Calcium und Magnesium steigt mit zunehmendem Anteil an Besatz in der Rapssaat. Der Calciumgehalt ist im Vergleich zum Magnesiumgehalt deutlich höher und übertrifft auch die analysierten Gehalte an Phosphor, wie in Abbildung 63 dargestellt. Die gemessenen Werte liegen jedoch auf geringem Niveau, so dass der geforderte Grenzwert von 20 mg/kg von allen Ölproben eingehalten wird. Die Calcium- und Magnesiumgehalte in ihrer Summe sind in Abbildung 64 dargestellt.

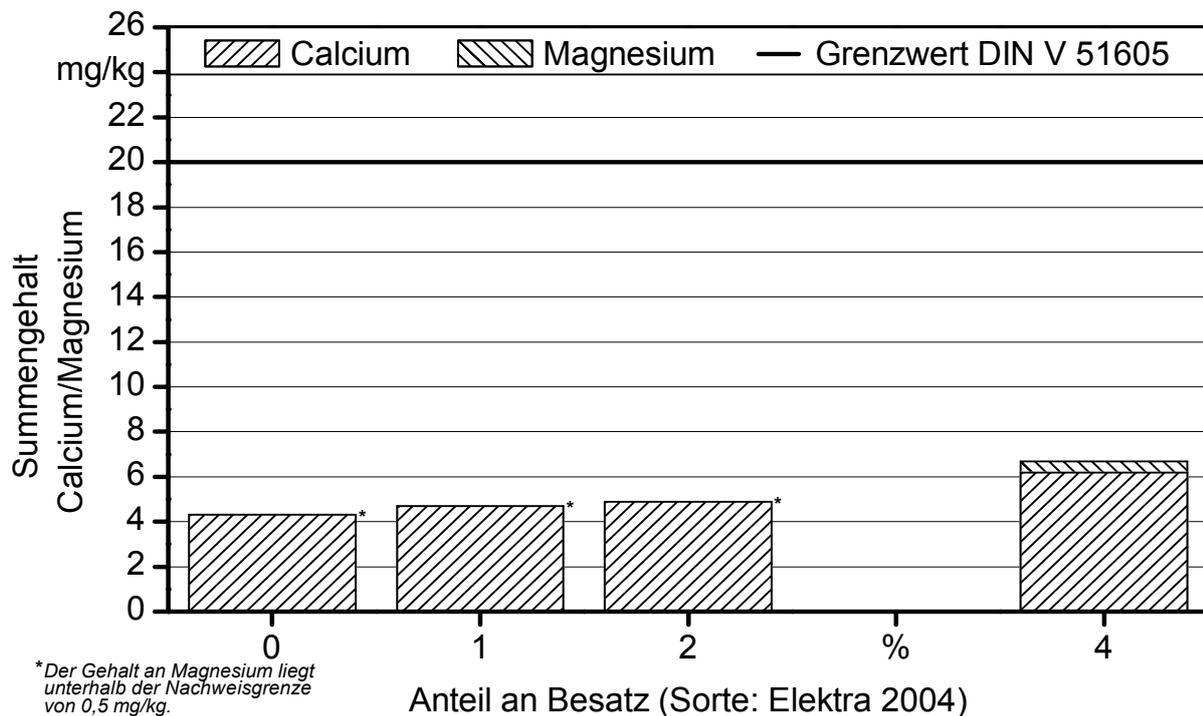


Abbildung 64: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Besatz

5.3.3 Einfluss des Reifegrads der Rapssaat

Der Einfluss der Ausreifung der Rapssaat wurde an Saatproben der Sorte Oase aus den Erntejahren 2004 und 2005 untersucht. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

5.3.3.1 Eigenschaften der Rapssaat

Säurezahl

Der Gehalt an freien Fettsäuren in der Saat, ausgedrückt durch die Säurezahl, nimmt mit zunehmender Ausreifung der Saat stark ab. Dieser Zusammenhang kann an den Rapssaatproben beider Erntejahre beobachtet werden. 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 gemessenen Säurezahlen der Saatproben der Erntejahre 2004 und 2005 sind in Abbildung 65 aufgezeigt.

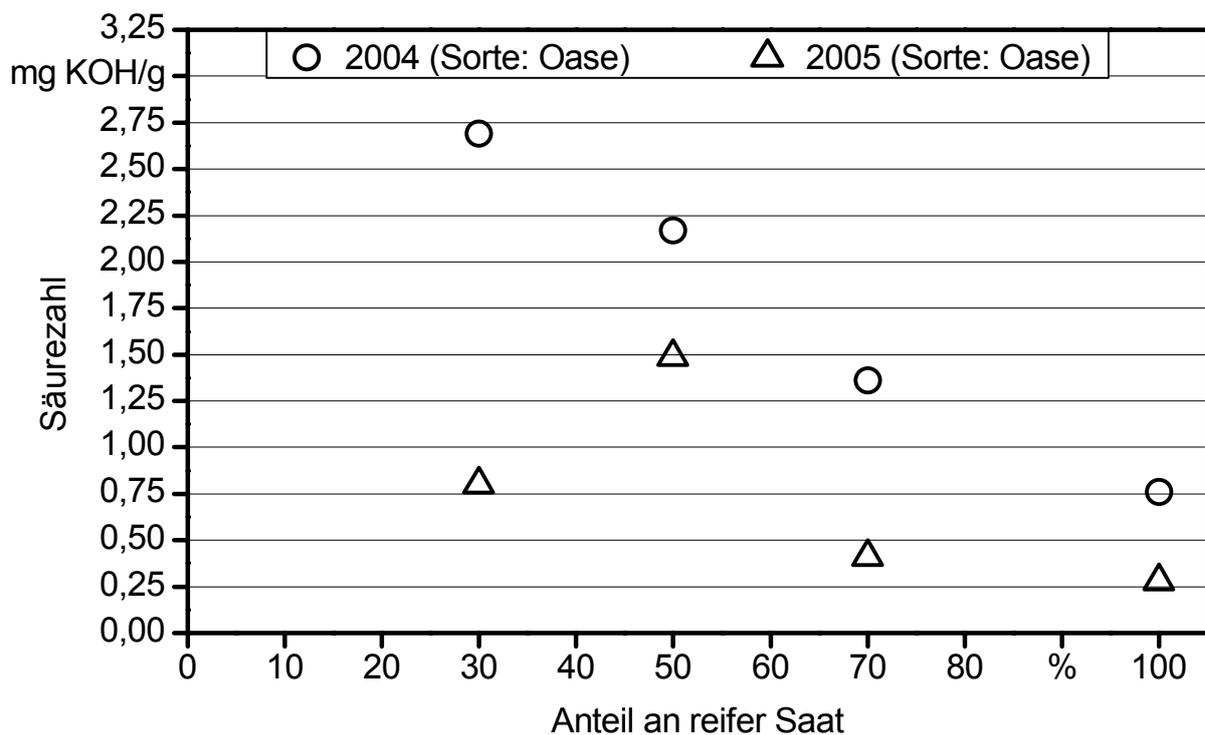


Abbildung 65: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Wassergehalt

In Abbildung 66 sind die Wassergehalte der Saatproben vor der Verarbeitung dokumentiert. Alle Saatproben wurden nach der Ernte, vor der Einlagerung getrocknet.

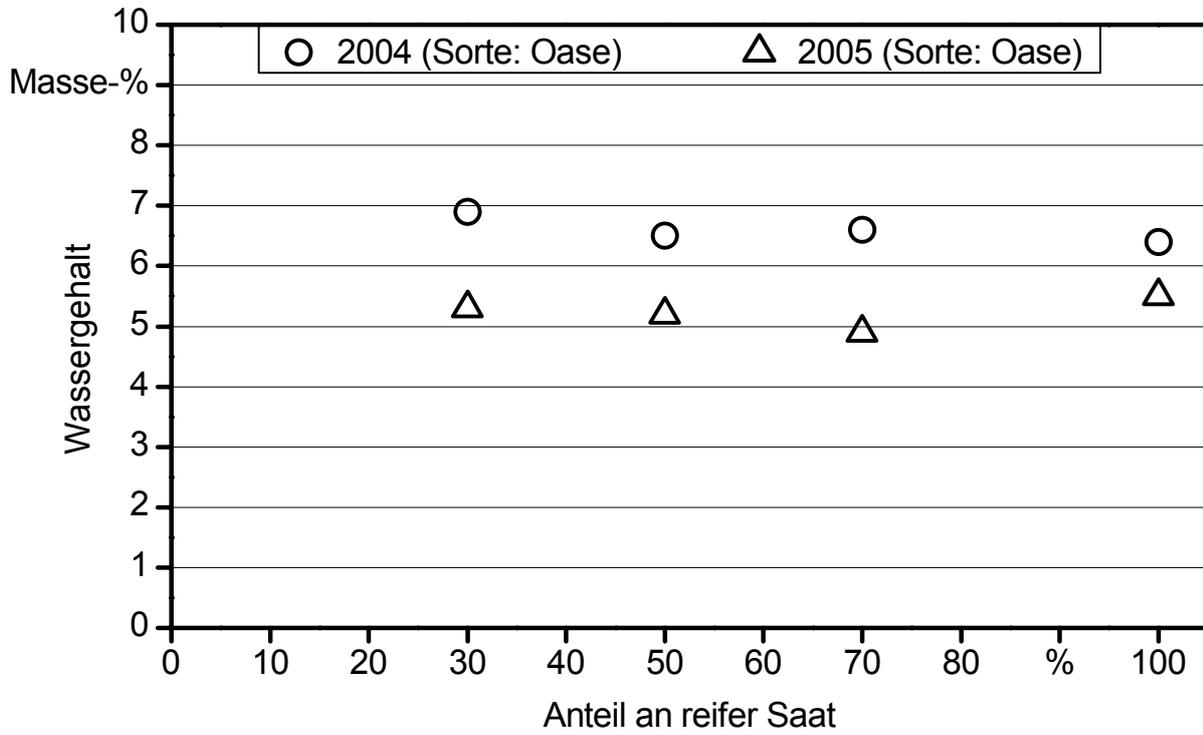


Abbildung 66: Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Ölgehalt

Der Ölgehalt der vier Rapssaatproben aus der Ernte 2004 steigt mit zunehmendem Reifegrad der Saat an. Die vollausgereifte Rapssaatprobe der Sorte Oase der Ernte 2005 weist allerdings einen geringeren Ölgehalt auf als die Rapssaatproben der untersuchten früheren Reifestadien. Der Ölgehalt der Rapssaat der Ernte 2005 ist geringer als der der Ernte 2004. Die Analysewerte zeigt Abbildung 67.

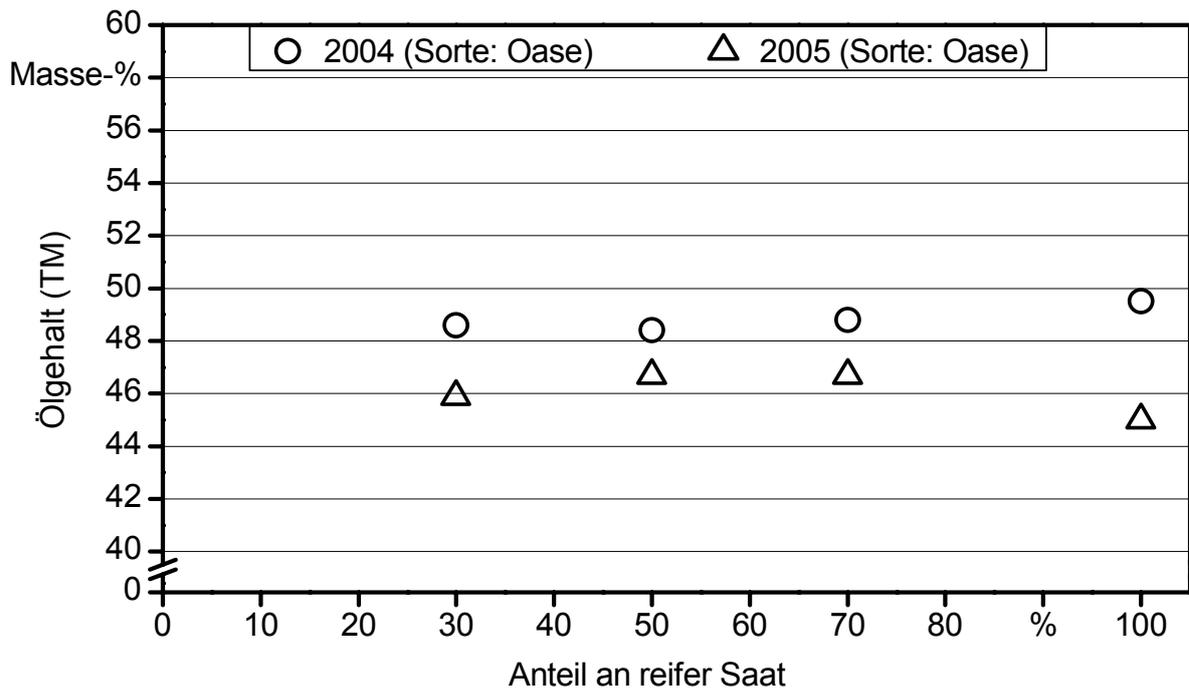


Abbildung 67: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

5.3.3.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

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 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. Wie bereits bei der Säurezahl der Rapssaat, dargestellt in Abbildung 65, entspricht der Messwert für die Säurezahl der Rapsölprobe Anteil 50 % reife Saat der Ernte 2005 nicht dem erwarteten Verlauf. Abbildung 68 zeigt die Ergebnisse aus den Versuchen zum Einfluss der Saatreife auf die Rapsölqualität.

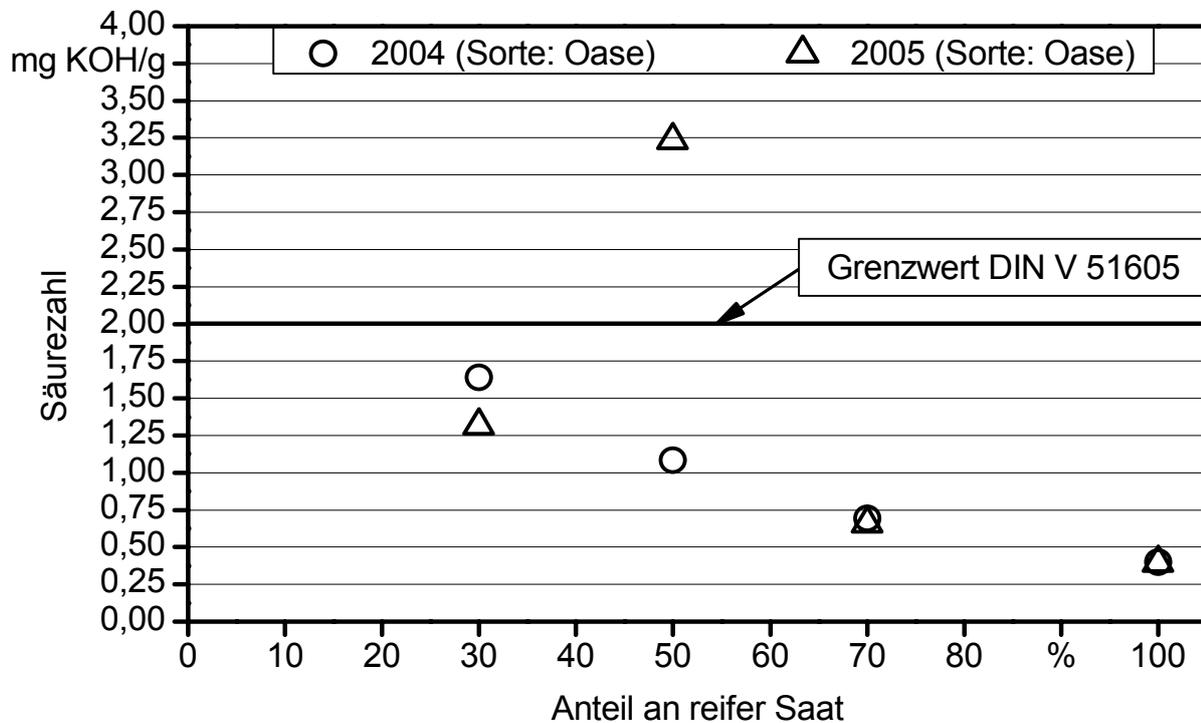


Abbildung 68: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Oxidationsstabilität

Die Oxidationsstabilität, als Maß für Lagerfähigkeit des Öls, steigt mit zunehmender Saatreife im Rapsöl an. Rapsöl aus der Sorte Oase der Ernte 2005 weist eine geringfügig höhere Oxidationsstabilität, als die Öle aus der Rapssaat der Ernte 2004, auf. Die Analysewerte sind in Abbildung 69 dargestellt.

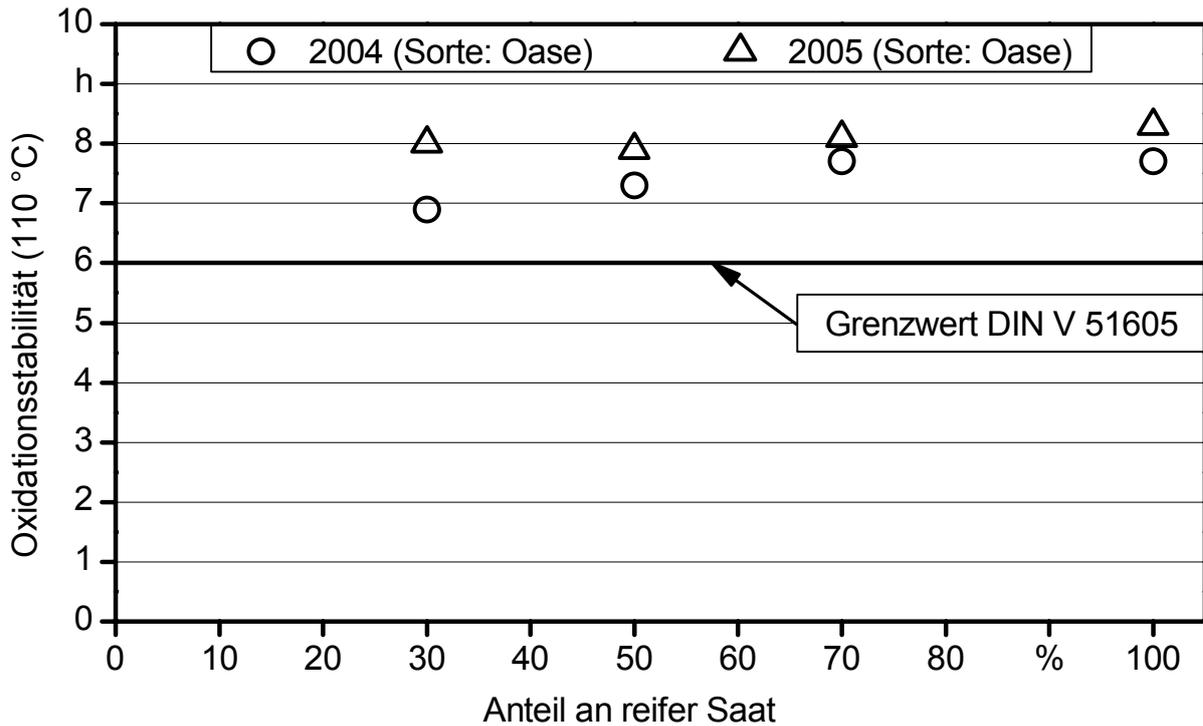


Abbildung 69: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Phosphorgehalt

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 der Sorte Oase der Ernte 2005 über, der Phosphorgehalt der Ölprobe der 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. Abbildung 70 zeigt die Entwicklung des Phosphorgehaltes im Rapsöl mit zunehmendem Reifegrad der Saat. Bei der Verarbeitung von Rapssaat in dezentralen Anlagen sollte auf einen möglichst hohen Reifegrad der Saat geachtet werden, um geringe Gehalte an Phosphor im Öl zu erzielen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, wie schon in Tabelle 6, S. 47 dargestellt, dass zum Beispiel bei der Ernte der Sorte Oase 2004 zwischen den Erntestadien 30 % reife Saat und 100 % reife Saat nur elf Tage liegen. Innerhalb eines kurzen Zeitraums entscheidet sich daher, ob eine Rapssaat für eine dezentrale Verarbeitung geeignet ist oder nicht.



Abbildung 70: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

Calcium- und Magnesiumgehalt

Deutlich ist in Abbildung 71 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. Je geringer der Anteil an unreifer Saat in der zu verarbeitenden Rapssaat ist, desto niedriger sind die Gehalte von Calcium und Magnesium im Rapsöl.

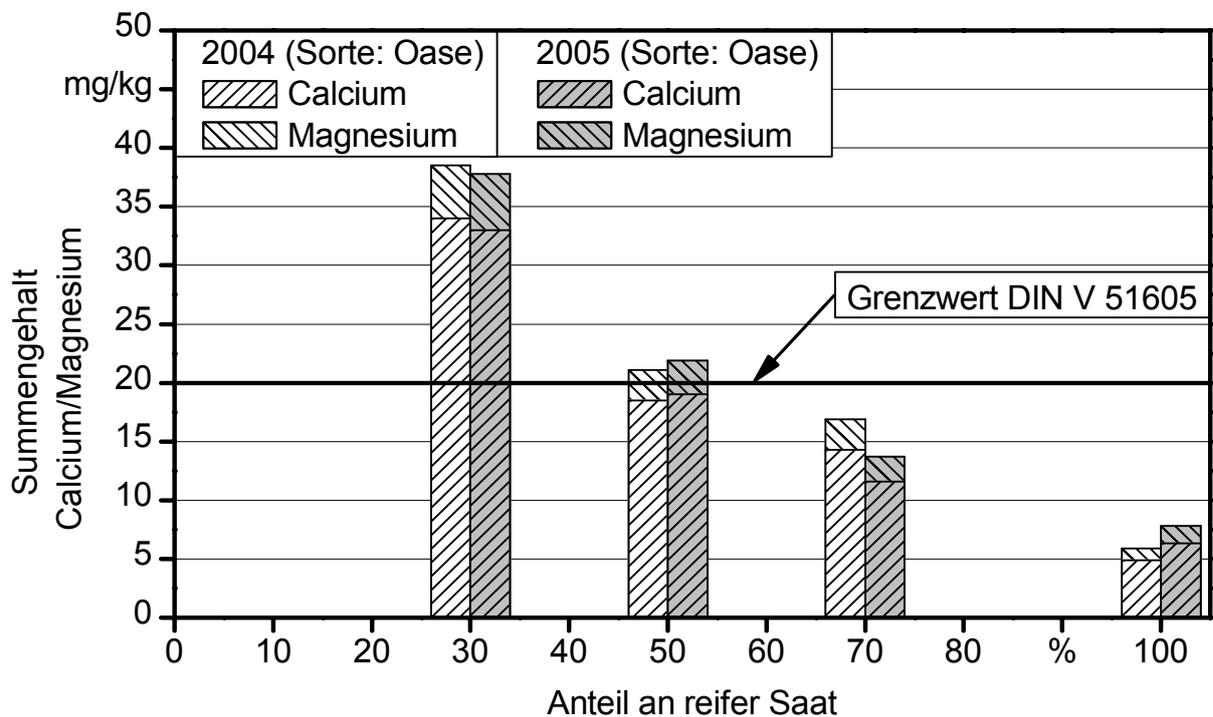


Abbildung 71: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an reifer Saat

5.3.4 Einfluss des Anteils an Auswuchs in der Saat

Die Auswirkung von Auswuchs in der Rapssaat auf die Eigenschaften der Rapssaat und ausgewählte Kennwerte von Rapsölkraftstoff wird im Folgenden aufgezeigt. Die Saat mit den definierten Anteilen Auswuchs wurde vor der Verarbeitung drei Monate gelagert.

5.3.4.1 Eigenschaften der Rapssaat

Säurezahl

Mit steigendem Anteil an Auswuchs in der Saat steigt auch die Säurezahl der Rapssaat. Die Analyseergebnisse sind in Abbildung 72 dargestellt.

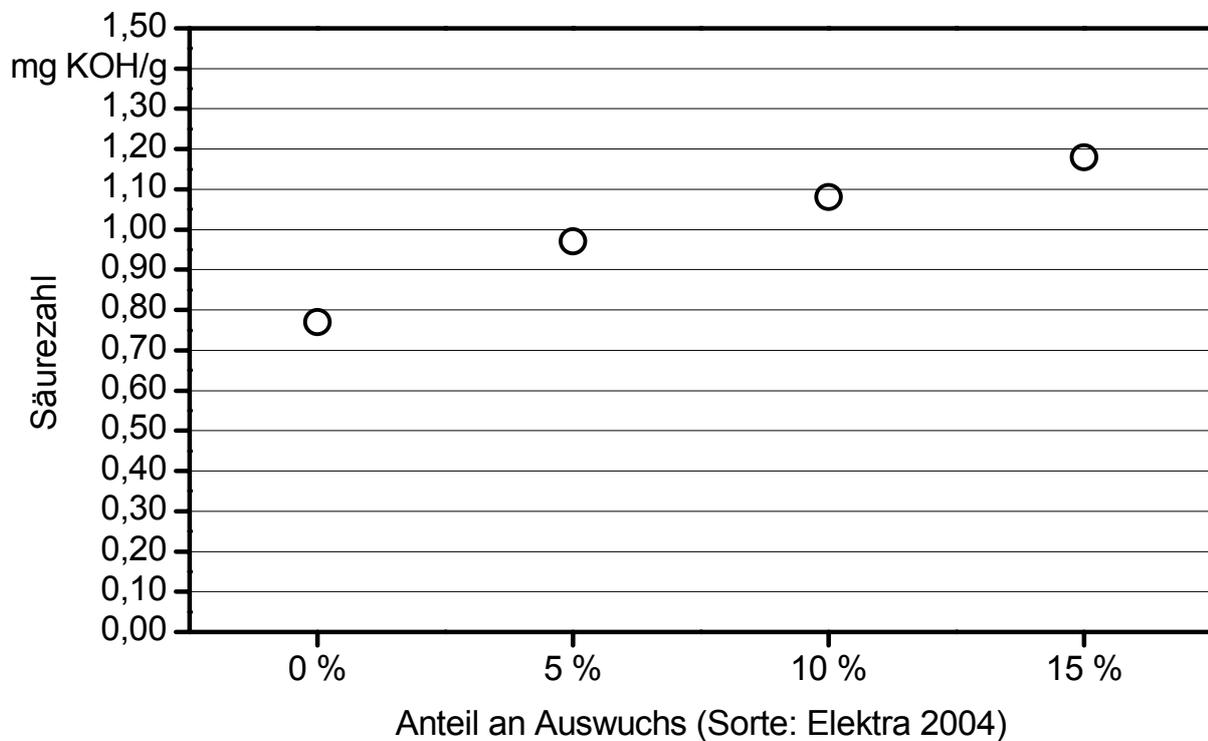


Abbildung 72: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

Wassergehalt

In der Saatprobe ohne Auswuchs ist der Wassergehalt höher als in den drei Saatproben mit definierten Anteilen Auswuchs. Bei den drei Proben mit Anteilen Auswuchs in der Saat konnten keine Unterschiede im Wassergehalt, wie Abbildung 73 zeigt, festgestellt werden.

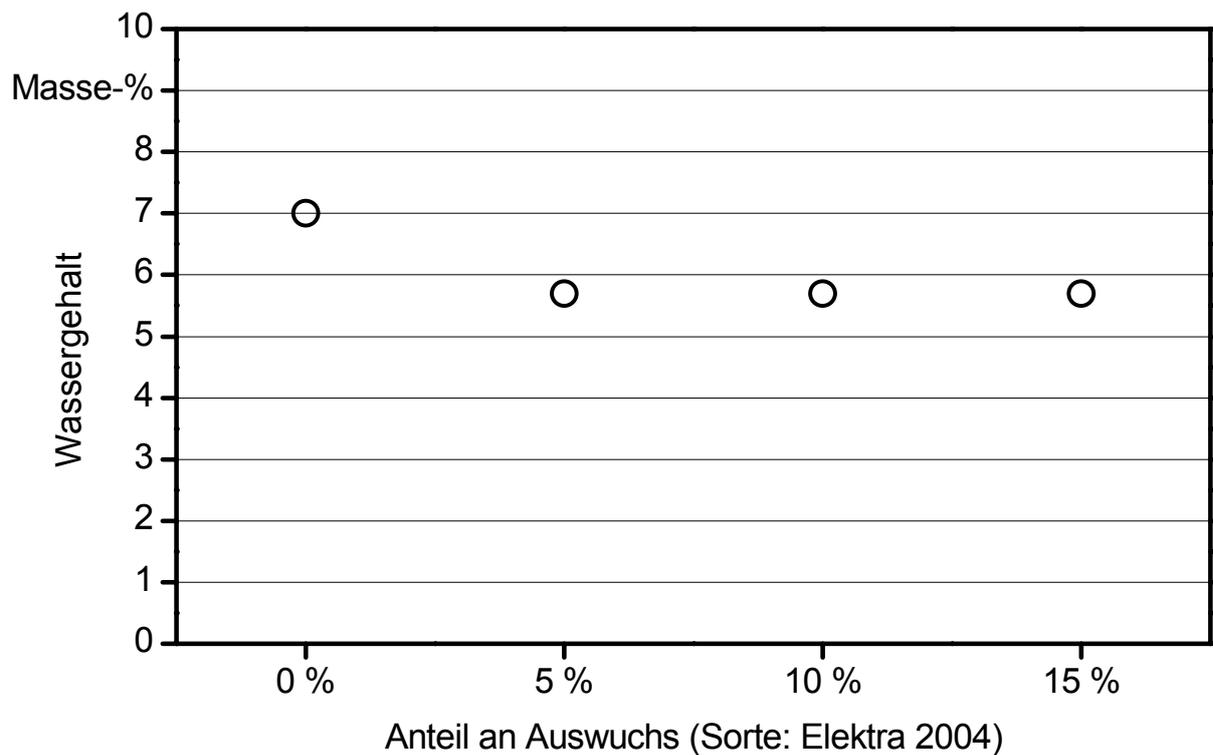


Abbildung 73: Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

Ölgehalt

Der Ölgehalt der Rapssaatproben nimmt erwartungsgemäß mit zunehmendem Anteil an Auswuchs in der Saat geringfügig ab. Die Analysenergebnisse zeigt Abbildung 74.

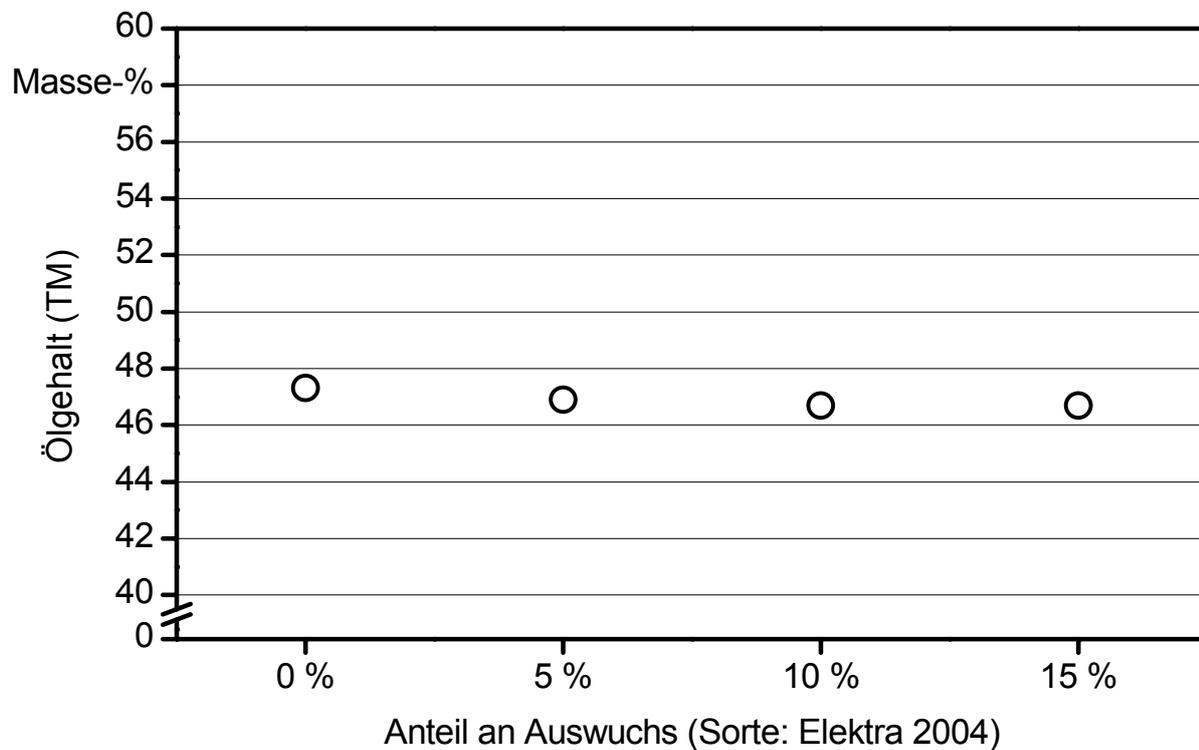


Abbildung 74: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

5.3.4.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

Abbildung 75 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Anteile an Auswuchs in der Rapssaat auf die Säurezahl im Rapsöl. Deutlich ist zu erkennen, dass durch Auswuchs in der Rapssaat die Säurezahl im Rapsöl im Vergleich zur Variante ohne Auswuchs stark ansteigt. Je höher der Anteil an Auswuchs, desto höher ist die Säurezahl. DIETL (2004) [14] stellt keine Auswirkung des Auswuchsanteils auf die Säurezahl fest, wenn die Saat ohne Zwischenlagerung verarbeitet wird. Auswuchs in der Saat wirkt sich erst mit der Lagerung der Saat auf die Ölqualität aus.

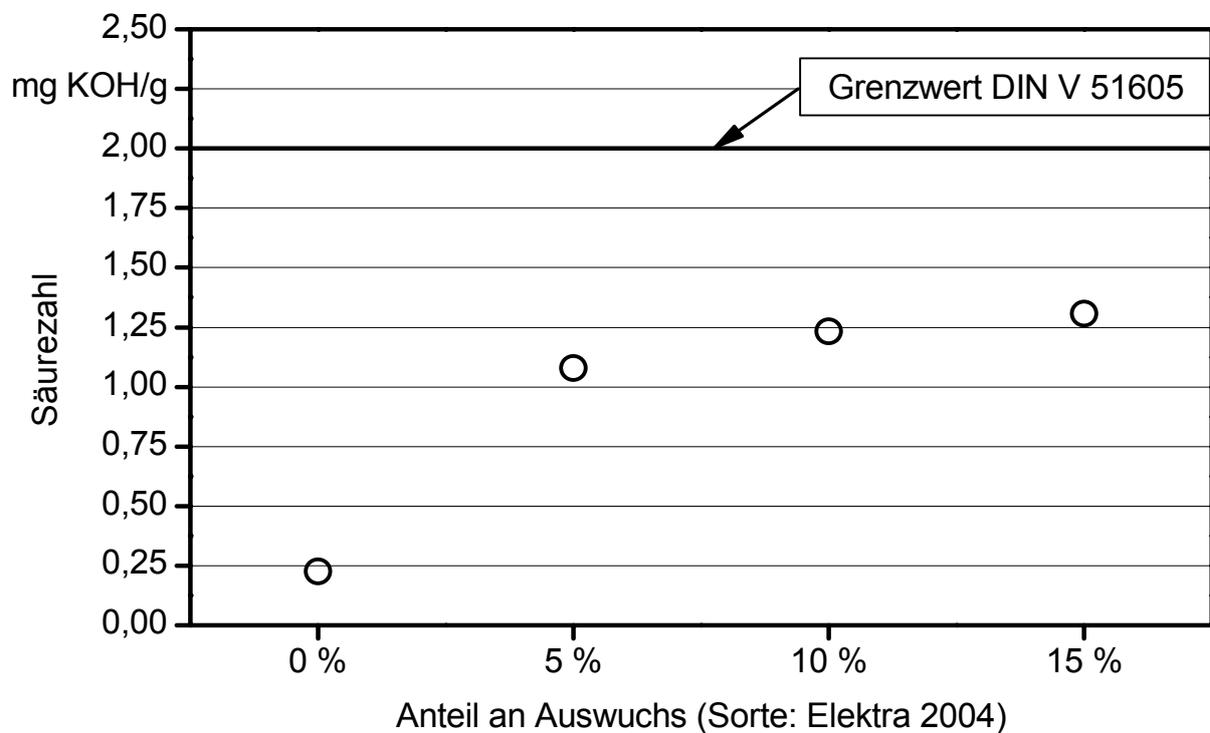


Abbildung 75: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

Oxidationsstabilität

Wie in Abbildung 76 dargestellt, ist die Oxidationsstabilität (110 °C) des Rapsöls aus Rapssaat mit Auswuchs gegenüber der Variante ohne Auswuchs geringfügig niedriger. Alle analysierten Werte der Öle liegen über dem Grenzwert für die Oxidationsstabilität (110 °C) der DIN V 51605. Im Vergleich zu den Arbeiten von DIETL (2004) [14] tritt die Minderung der Oxidationsstabilität verstärkt auf, wenn die Saat mit Anteilen Auswuchs vor der Verarbeitung gelagert wird.

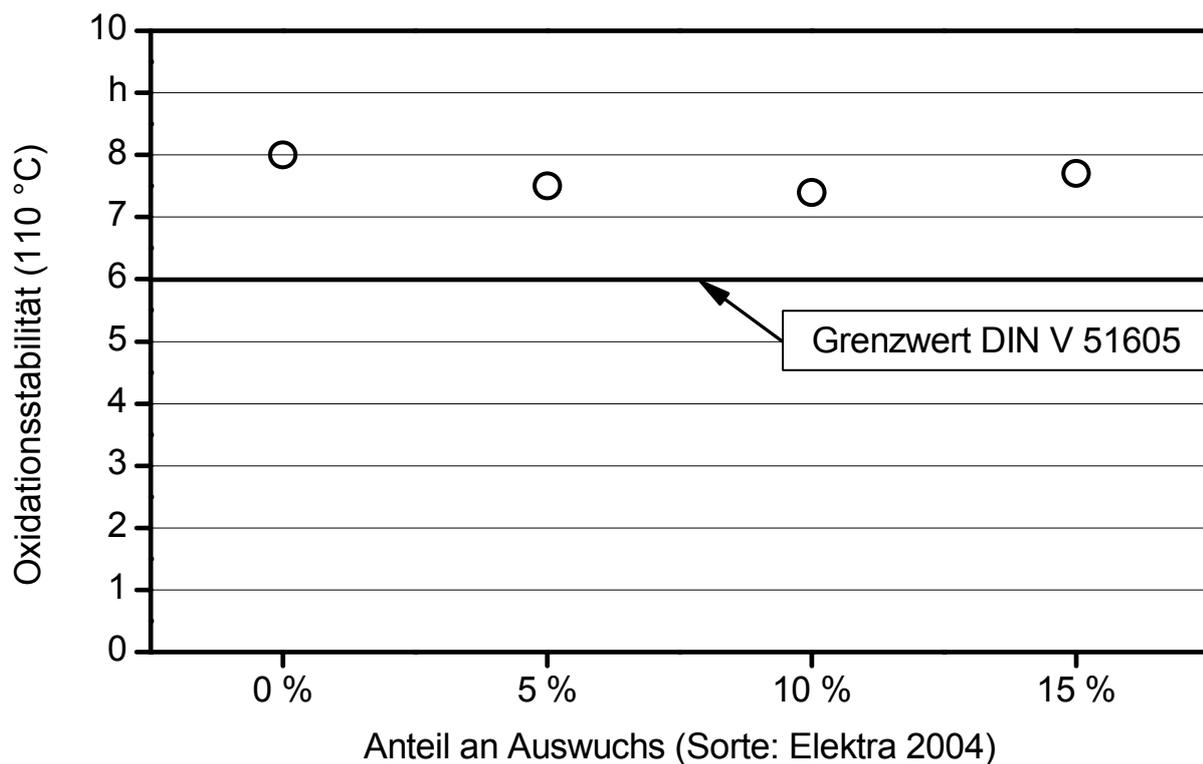


Abbildung 76: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

Phosphorgehalt

Tritt Auswuchs in der Saat auf, steigt mit zunehmendem Anteil an Auswuchs der Phosphorgehalt im Rapsöl an. In den vorliegenden Untersuchungen wird bei einem Anteil an Auswuchs von 15 % ein Phosphorgehalt von 10,6 mg/kg, und damit ein Gehalt knapp unter dem Grenzwert von 12 mg/kg, gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 77 zusammengefasst. DIETL (2004) [14], der die Rapssaat mit Auswuchs vor der Verarbeitung nicht gelagert hat, stellt keinen Einfluss des Anteils an Auswuchs auf den Phosphorgehalt fest. Die Auswirkung des Auswuchsanteils auf den Phosphorgehalt des Rapsöls tritt offenbar erst durch die Lagerung der geschädigten Saat vor der Verarbeitung auf.

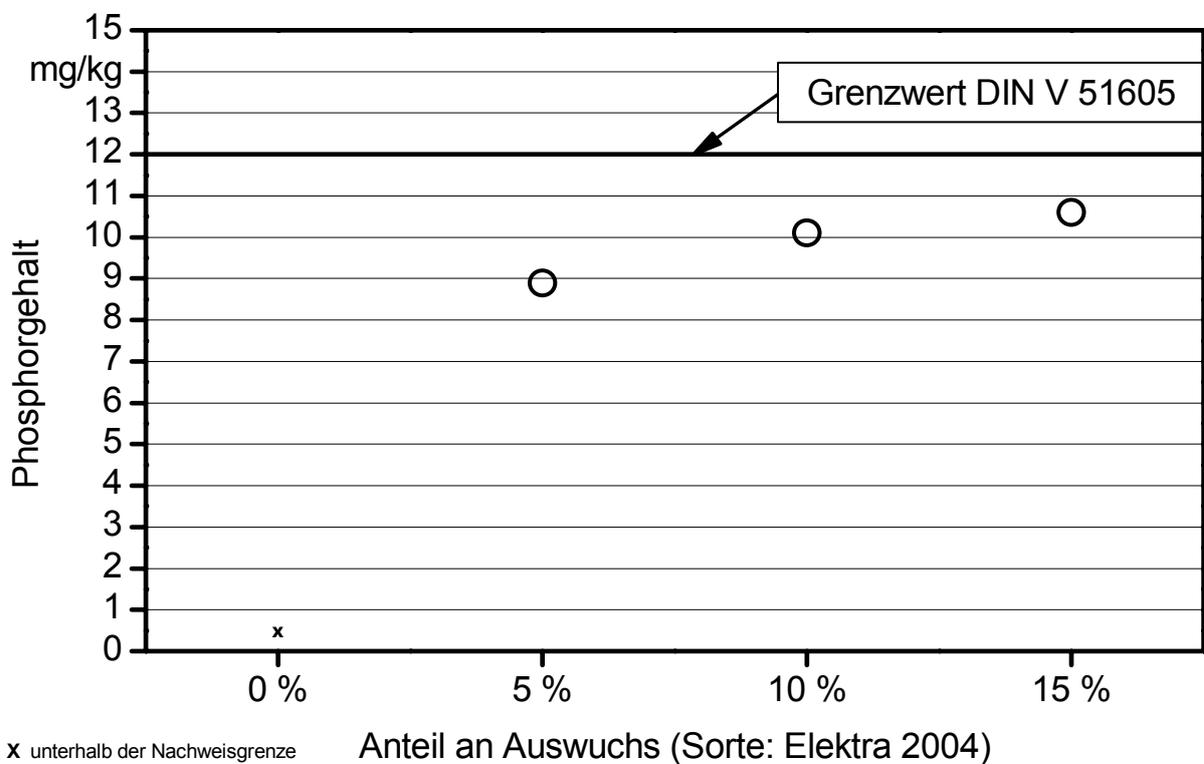


Abbildung 77: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

Calcium- und Magnesiumgehalt

Wie der Gehalt an Phosphor, dargestellt in Abbildung 77, nimmt auch der Gehalt an Calcium und Magnesium mit steigendem Anteil an Auswuchs in der Rapssaat deutlich zu. In den in Abbildung 78 gezeigten Versuchsvarianten, wird bei einem Anteil an Auswuchs in Höhe von 10 % und 15 % der Grenzwert für den Summehalt an Calcium und Magnesium gemäß der Vornorm DIN V 51605 in Höhe von 20 mg/kg nicht mehr eingehalten. Von DIETL (2004) [14] wurde kein Einfluss des Anteils an Auswuchs in nicht gelagerter Saat auf den Calcium- und Magnesiumgehalt in Rapsölkraftstoff festgestellt. Die Lagerung von Rapssaat mit Auswuchs verstärkt daher den Effekt des Anstiegs von Calcium und Magnesium im Öl.

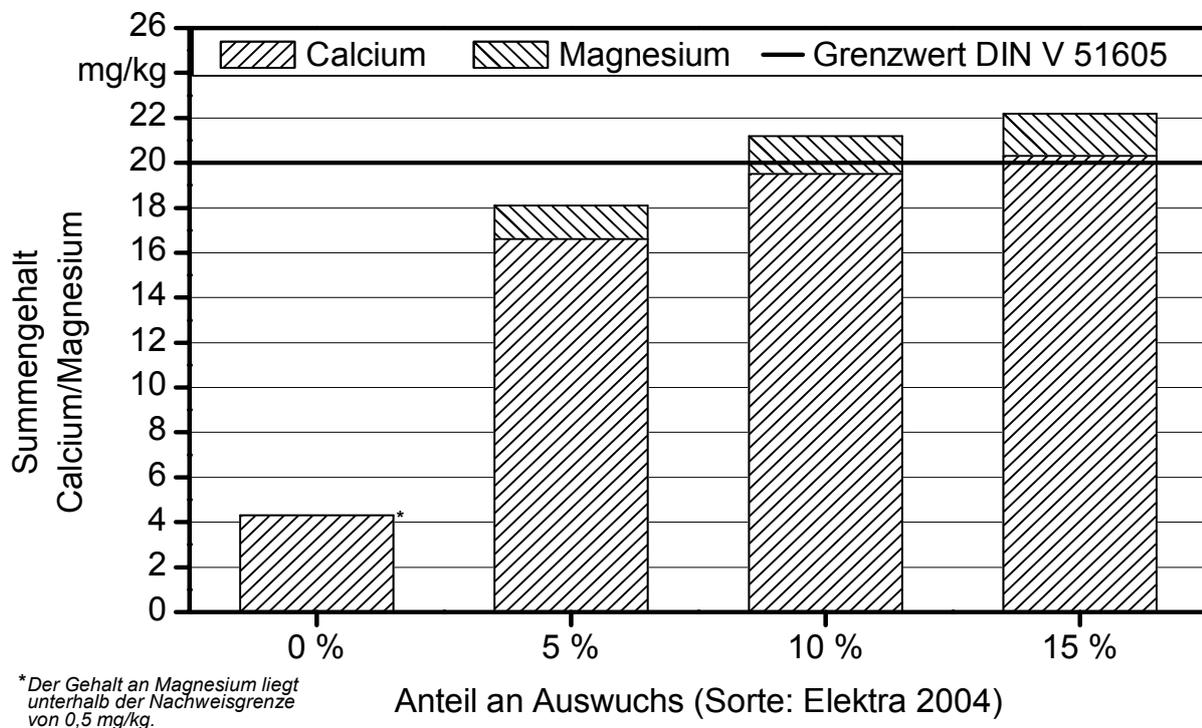


Abbildung 78: Summehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an Auswuchs

5.3.5 Einfluss der Saatschälung

Der Einfluss der Saatschälung wurde an Saat, die sofort nach der Schälung verarbeitet und an Saat, die nach der Schälung drei Monate vor der Verarbeitung zwischengelagert wurde, untersucht. Durch die Untersuchung zwischengelagerter Saat sollten auch Zusammenhänge aufgedeckt werden, wie sie bei der Verarbeitung von Saat mit hohem Bruchkornanteil auftreten können.

5.3.5.1 Eigenschaften der Rapssaat

Säurezahl

Die Säurezahl der nicht geschälten Rapssaat ist im Vergleich zur komplett geschälten Rapssaat geringfügig erhöht. Bei den Varianten Anteil 33 % geschälte Saat und Anteil 66 % geschälte Saat wurden im Vergleich zur ungeschälten Saat unerwartet deutlich höhere Säurezahlen gemessen. Durch die Lagerung der geschälten Saat verringerte sich die Säurezahl der Rapssaat. Die Zusammenhänge zeigt Abbildung 79.

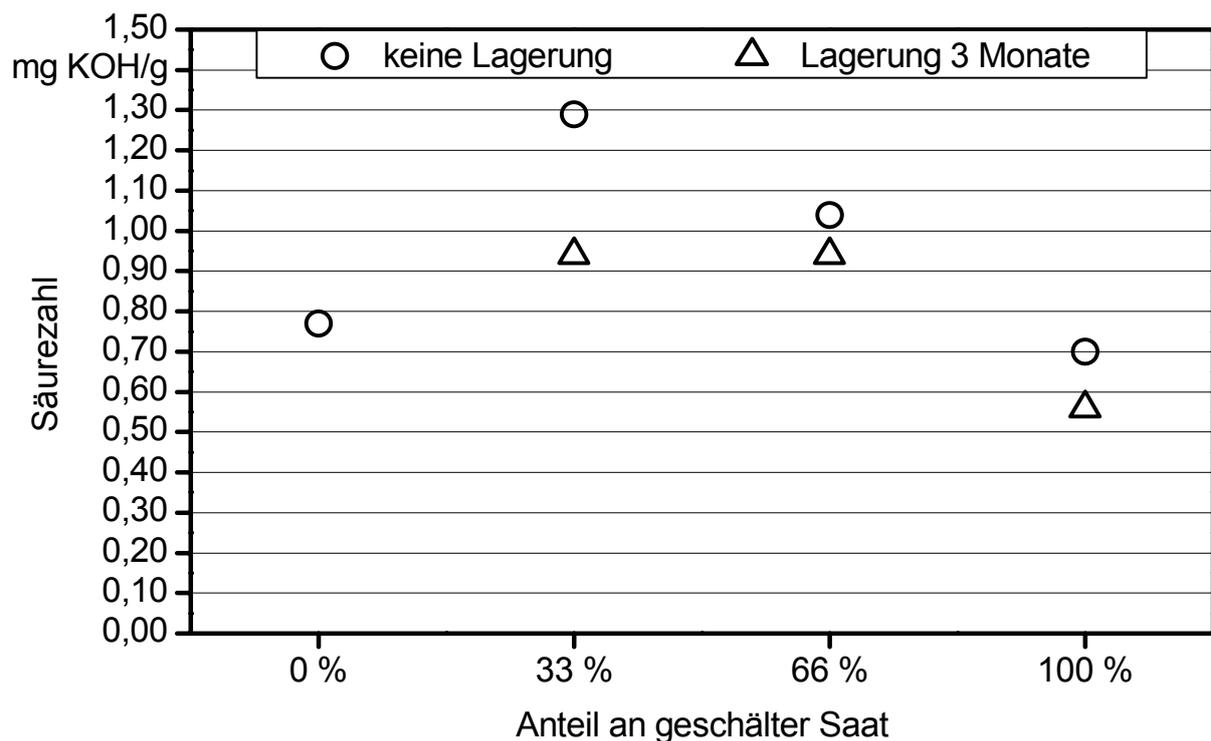


Abbildung 79: Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

Wassergehalt

Der Wassergehalt der Rapssaat nimmt mit steigendem Anteil geschälter Saat ab. Bei den gelagerten Varianten ist die Änderung des Wassergehalts unstetig. Die Analysenwerte für den Wassergehalt in der Saat werden in Abbildung 80 gezeigt.

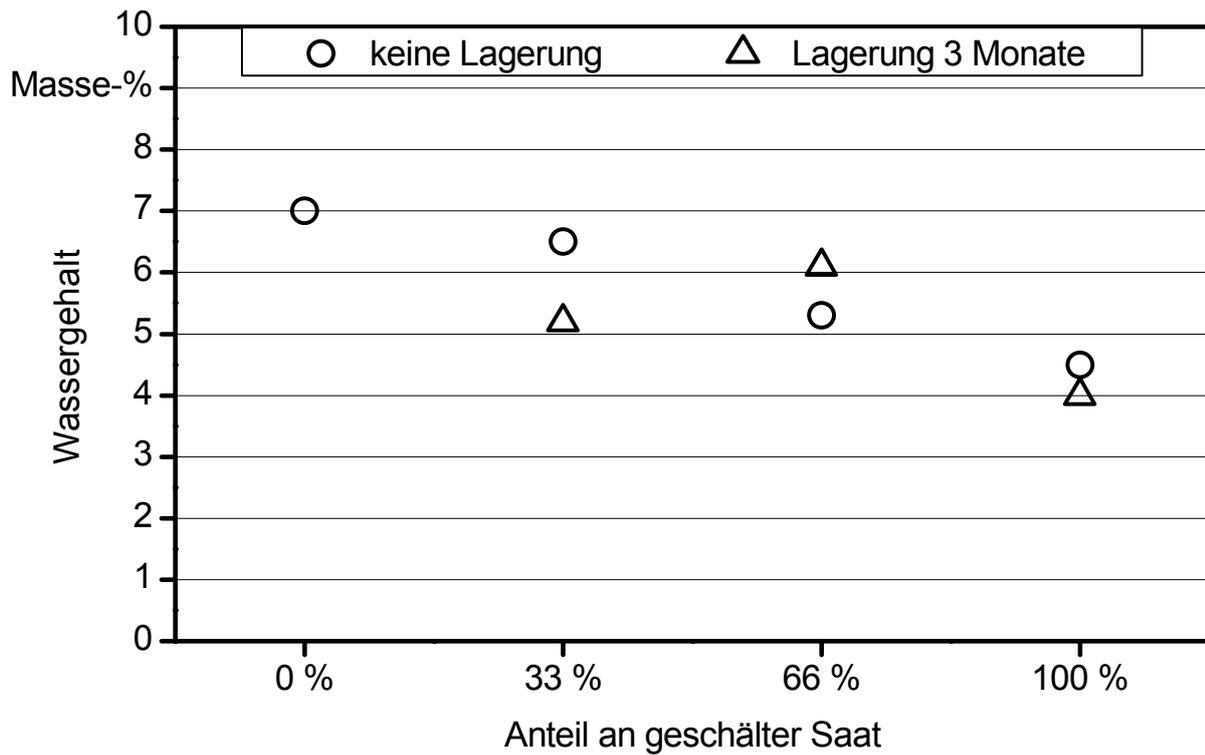


Abbildung 80: Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

Ölgehalt

Der Ölgehalt in der Rapssaat steigt linear mit zunehmendem Anteil geschälter Saat. Der Ölgehalt (TM) in der komplett geschälten Rapssaat ist um etwa sechs Prozentpunkte höher als in der ungeschälten Saat. Die Lagerung der Rapssaat nimmt erwartungsgemäß keinen Einfluss auf den Ölgehalt. Abbildung 81 stellt die Ergebnisse im Detail dar.

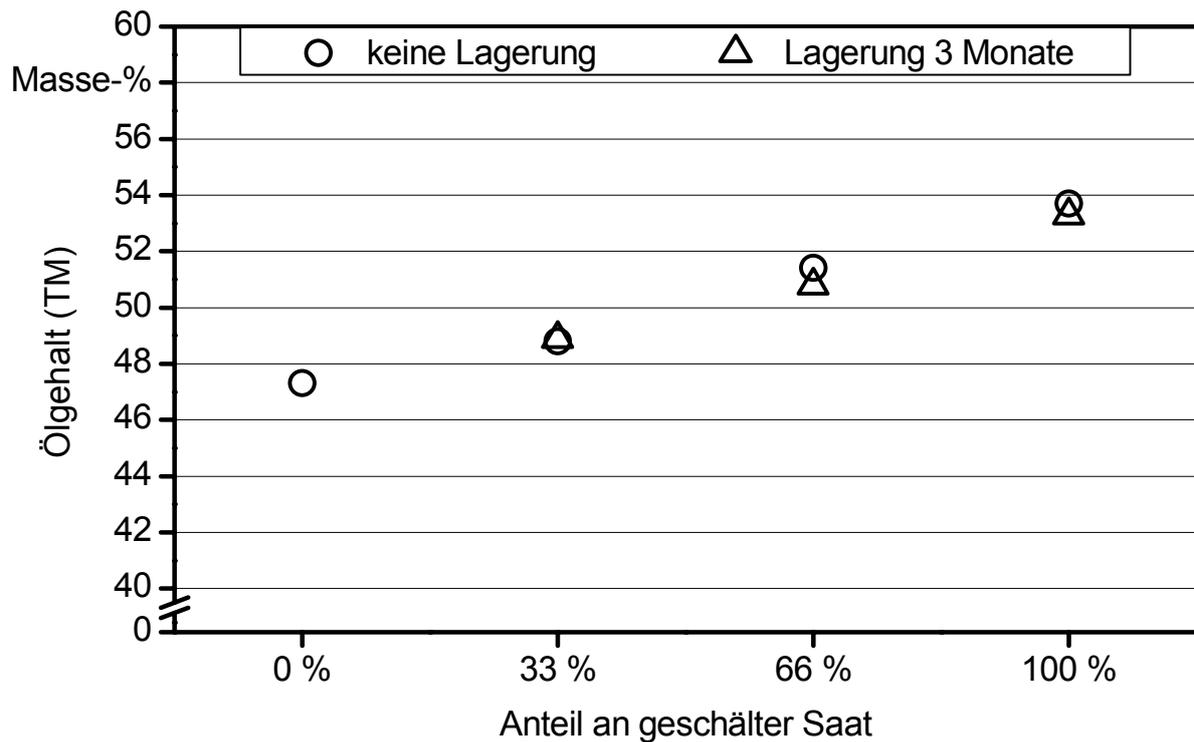


Abbildung 81: Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaatproben mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

5.3.5.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

Der Gehalt an freien Fettsäuren im Öl, beschrieben durch die Säurezahl, nimmt mit zunehmendem Anteil an geschälter Saat ab, ist aber gegenüber der ungeschälten Variante deutlich erhöht. Ein ähnlicher Effekt wurde bezüglich des Phosphorgehalts, dargestellt in Abbildung 84, beobachtet. Die Ergebnisse von DIETL (2004) [14], der einen kontinuierlichen Anstieg der Säurezahl mit zunehmendem Anteil geschälter Saat beschreibt, konnten nicht bestätigt werden. Hingegen stimmen die Ergebnisse mit den Aussagen von KOZLOWSKA et al. (1988) [27] überein, der im Öl der Rapschalen erhöhte Säuregehalte festgestellt hat. Wird geschälte Saat vor der Verarbeitung über drei Monate zwischengelagert, so ist die Säurezahl im Rapsöl vergleichsweise höher. Rapssaat sollte deshalb, falls geschält werden soll, erst unmittelbar vor der Verarbeitung geschält werden. Die Ergebnisse der Ölgewinnungsversuche mit unterschiedlichen Anteilen geschälter Saat sind in Abbildung 82 zusammengestellt. Die gemessenen Werte für die Säurezahl im Rapsöl liegen deutlich unter dem Grenzwert von 2,0 mg KOH/g.

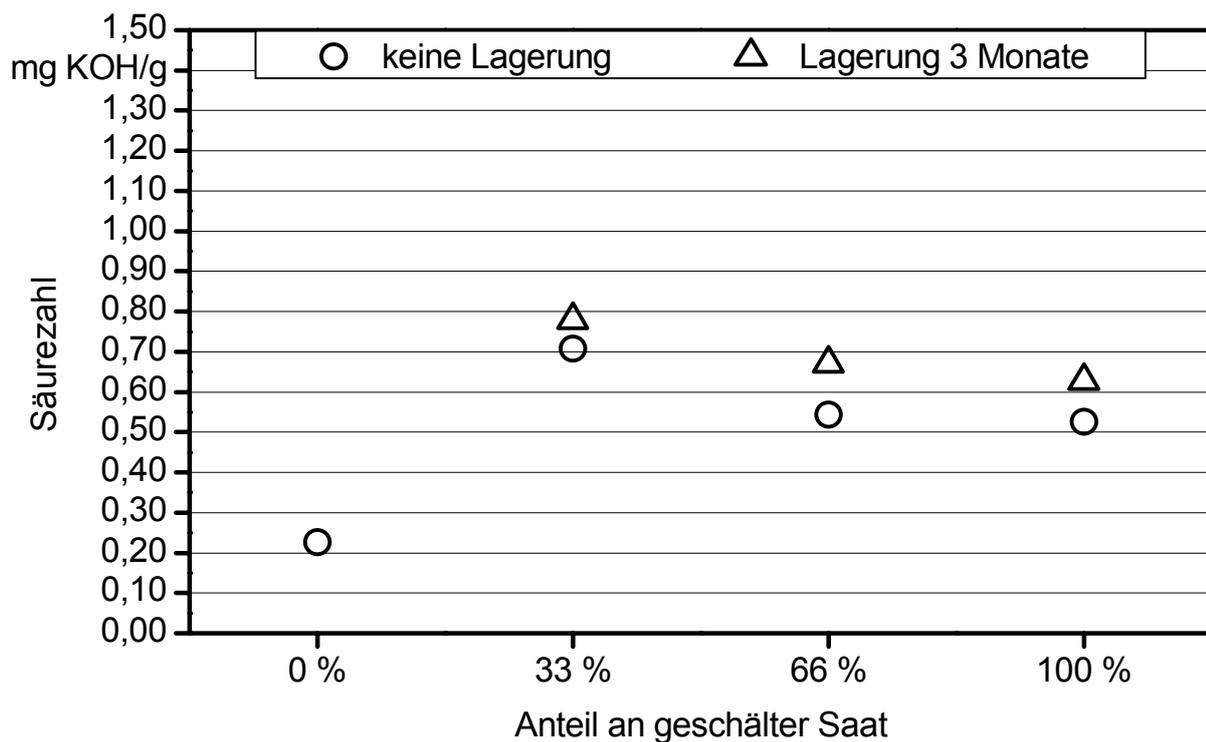


Abbildung 82: Säurezahl (DIN EN 14104) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

Oxidationsstabilität

Die Oxidationsstabilität von Rapsöl, wird durch die Schälung der Rapssaat nicht beeinflusst. Alle gemessenen Werte liegen im Bereich der Wiederholbarkeit des Prüfverfahrens. Auch die Zwischenlagerung der geschälten Rapssaat über einen Zeitraum von drei Monaten vor der Verarbeitung wirkt sich, wie Abbildung 83 zeigt, nicht nachteilig aus.

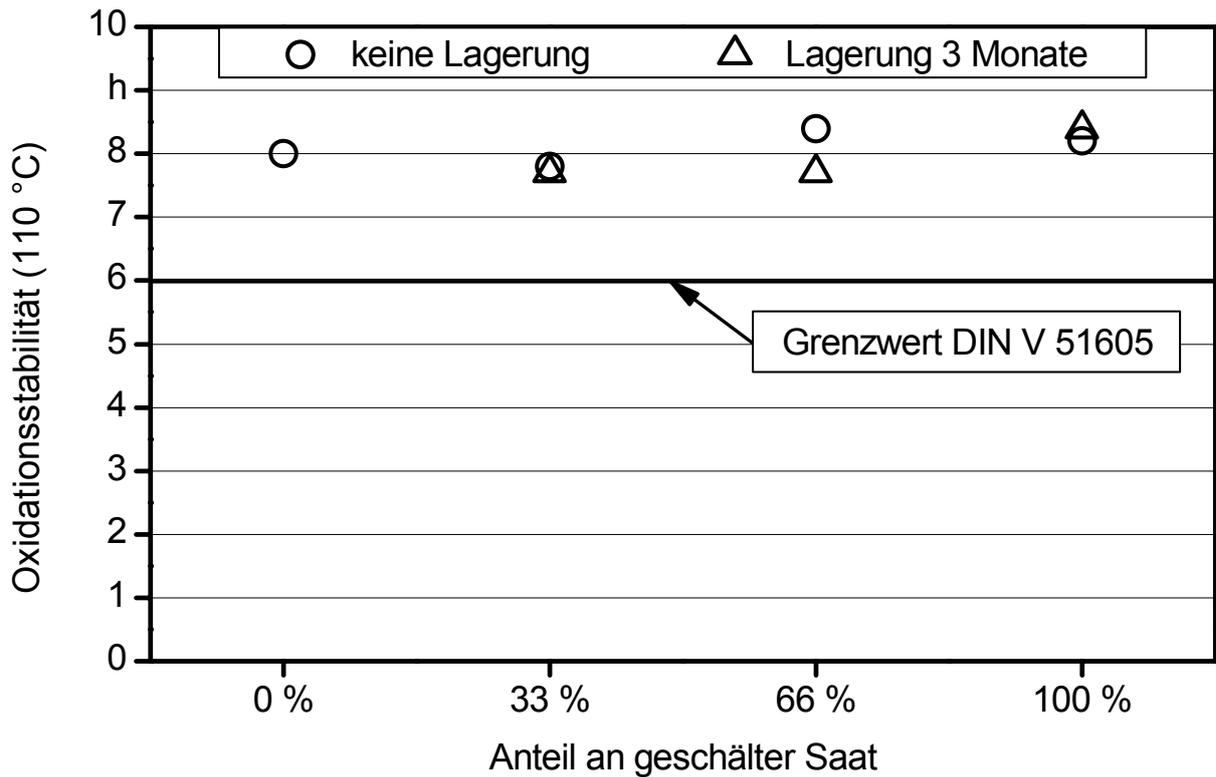


Abbildung 83: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

Phosphorgehalt

Mit zunehmendem Anteil geschälter Rapssaat sinkt der Phosphorgehalt. Es ist jedoch wie bei den Untersuchungen zur Säurezahl, dargestellt in Abbildung 82, auffällig, dass die ungeschälte Saat deutlich besser abschneidet als die Varianten mit geschälter Saat. Die Zwischenlagerung geschälter Rapssaat wirkt sich hingegen nachteilig auf den Phosphorgehalt im Öl aus. Die Ergebnisse sind in Abbildung 83 zusammengestellt. Alle gemessenen Werte liegen deutlich unterhalb des Grenzwerts für den Phosphorgehalt in Höhe von 12 mg/kg.

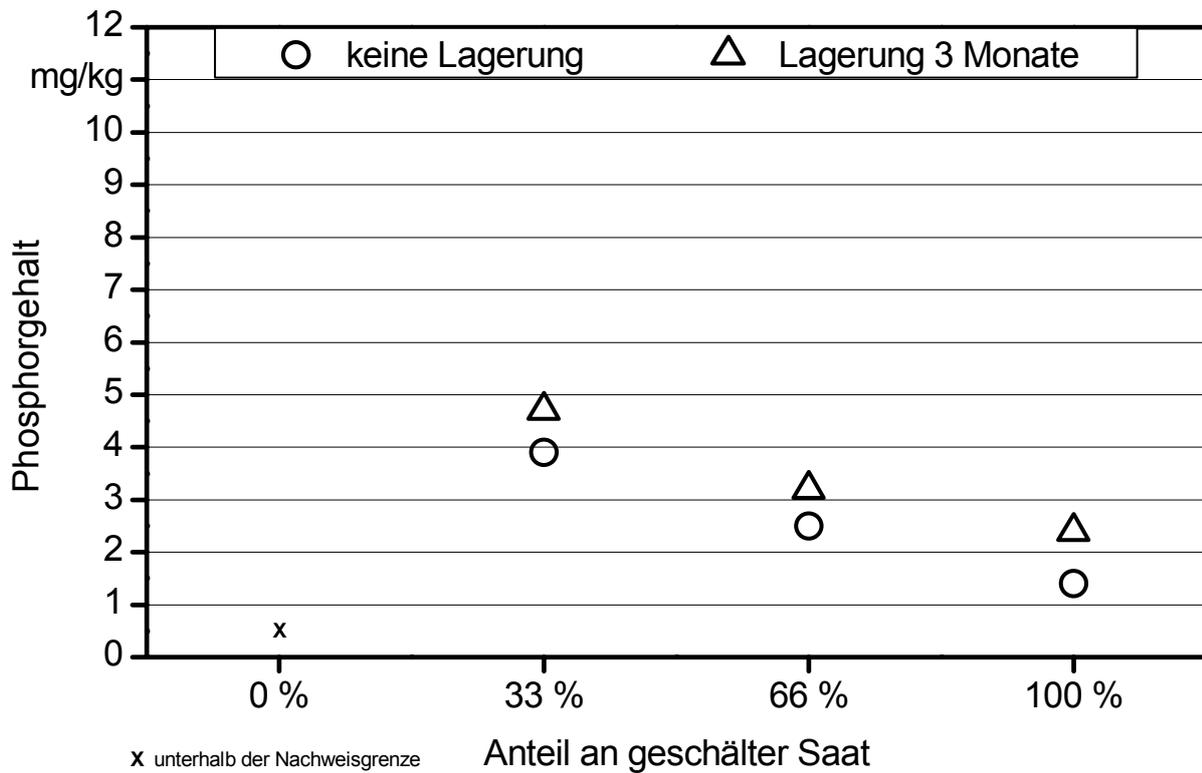


Abbildung 84: Phosphorgehalt (DIN EN 14107) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

Calcium- und Magnesiumgehalt

Wie Abbildung 85 zeigt, nimmt der Summengehalt an Calcium und Magnesium mit einem von 33 % auf 100 % zunehmenden Anteil geschälter Saat ab. Die Zwischenlagerung der geschälten Saat vor der Verarbeitung wirkt sich negativ auf den Gehalt an Calcium und Magnesium aus. Bei allen drei untersuchten gelagerten Varianten waren die Analysenwerte höher als bei der nicht gelagerten Vergleichsvariante. Überraschenderweise weist die Ölprobe aus nicht geschälter Saat nur einen geringfügig höheren Wert für den Summengehalt an Calcium und Magnesium auf als die Ölprobe aus 100 %-geschälter Saat und einen deutlich geringeren Wert im Vergleich zu den Ölproben aus 33 %- und 66 %-geschälter Saat.

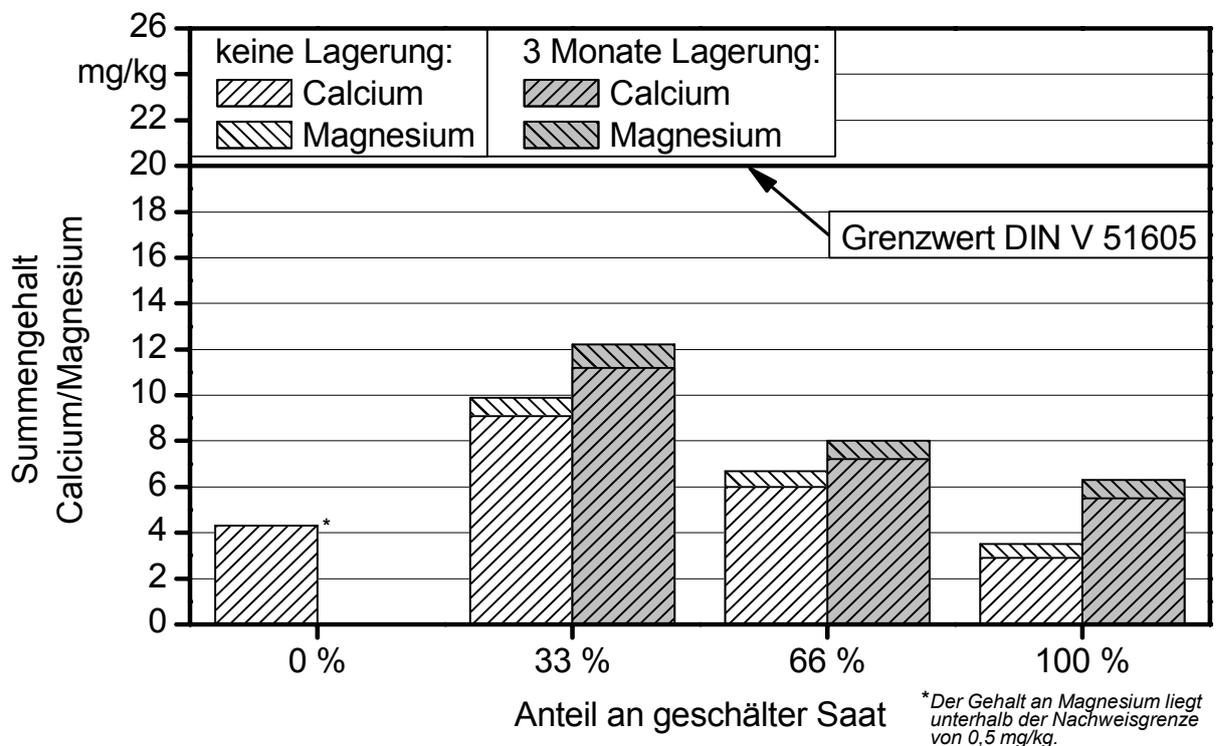


Abbildung 85: Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) der Ölproben aus Rapssaat mit verschiedenen Anteilen an geschälter Saat

5.3.6 Einfluss der Trocknungstemperatur

Im Folgenden sind Ergebnisse zum Einfluss der Temperatur der Trocknungsluft bei der Saattrocknung auf die Eigenschaften der Saat und auf die Rapsölqualität dargestellt.

5.3.6.1 Eigenschaften der Rapssaat

Säurezahl

Durch die Temperatur der Trocknungsluft wird die in der Rapssaat gemessene Säurezahl nur geringfügig beeinflusst. Tendenziell ist die Säurezahl bei den Trocknungslufttemperaturen von 40 °C und 80 °C geringfügig niedriger als bei der Trocknung mittels Luft mit Umgebungstemperatur. Abbildung 86 zeigt den Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Säurezahl der Rapssaat.

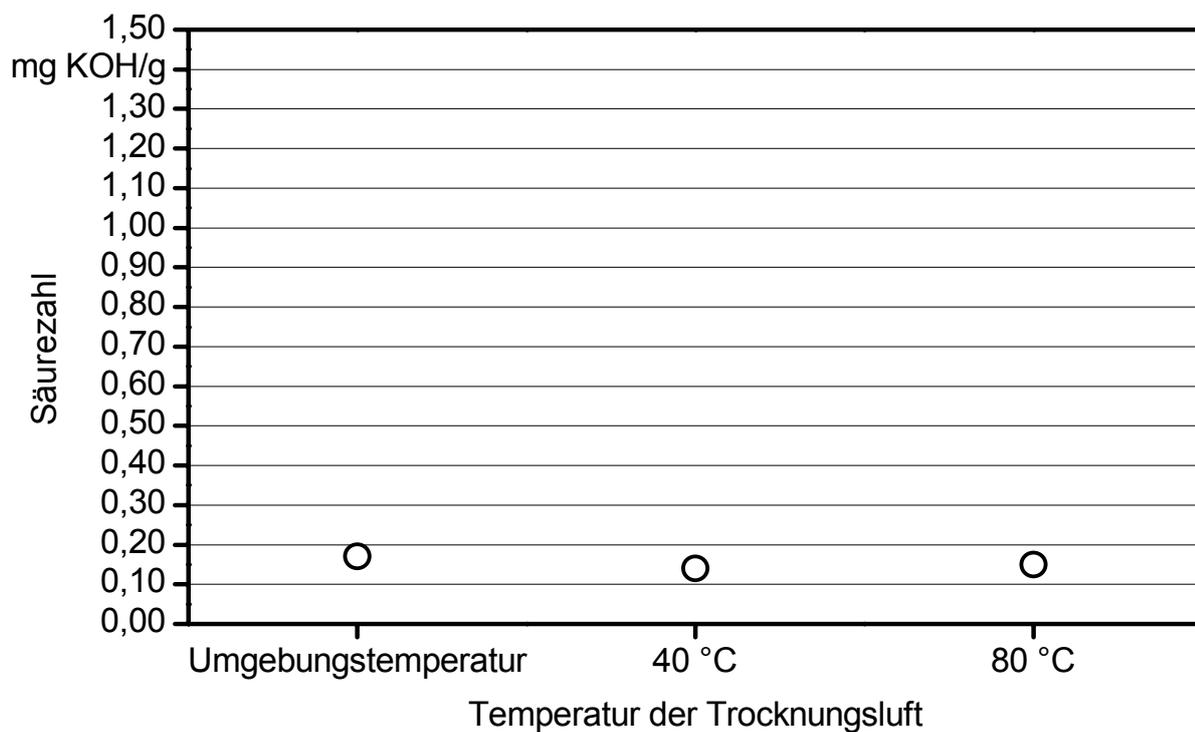


Abbildung 86: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Säurezahl (DIN EN ISO 660) der Rapssaat

Wassergehalt

Mit steigender Trocknungstemperatur nimmt der Wassergehalt in der Saat ab. Die Auswirkung der Temperatur der Trocknungsluft auf den Wassergehalt ist in Abbildung 87 dargestellt.

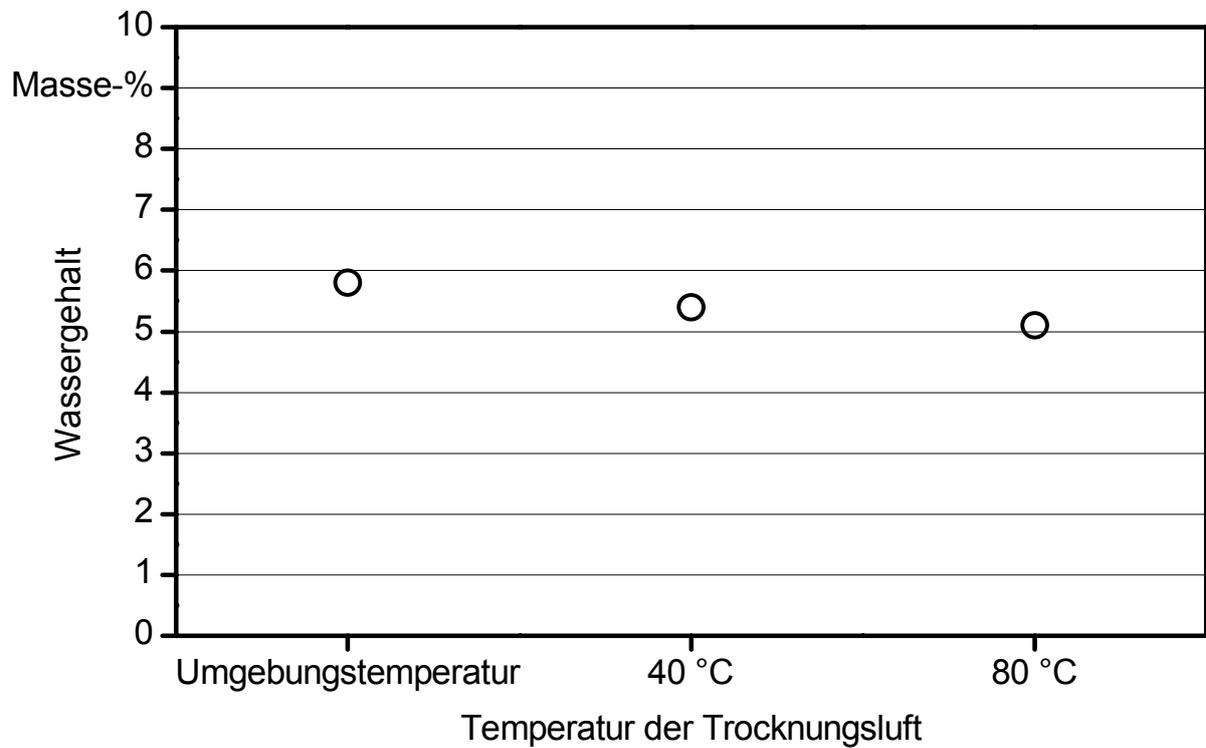


Abbildung 87: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Wassergehalt (DIN 51718) der Rapssaat

Ölgehalt

Der Ölgehalt in der Saat verändert sich in Abhängigkeit von der Trocknungstemperatur, wie Abbildung 88 zeigt, nur geringfügig und nicht linear. Abbildung 87 zeigt die gemessenen Ölgehalte in Abhängigkeit von der Temperatur der Trocknungsluft.

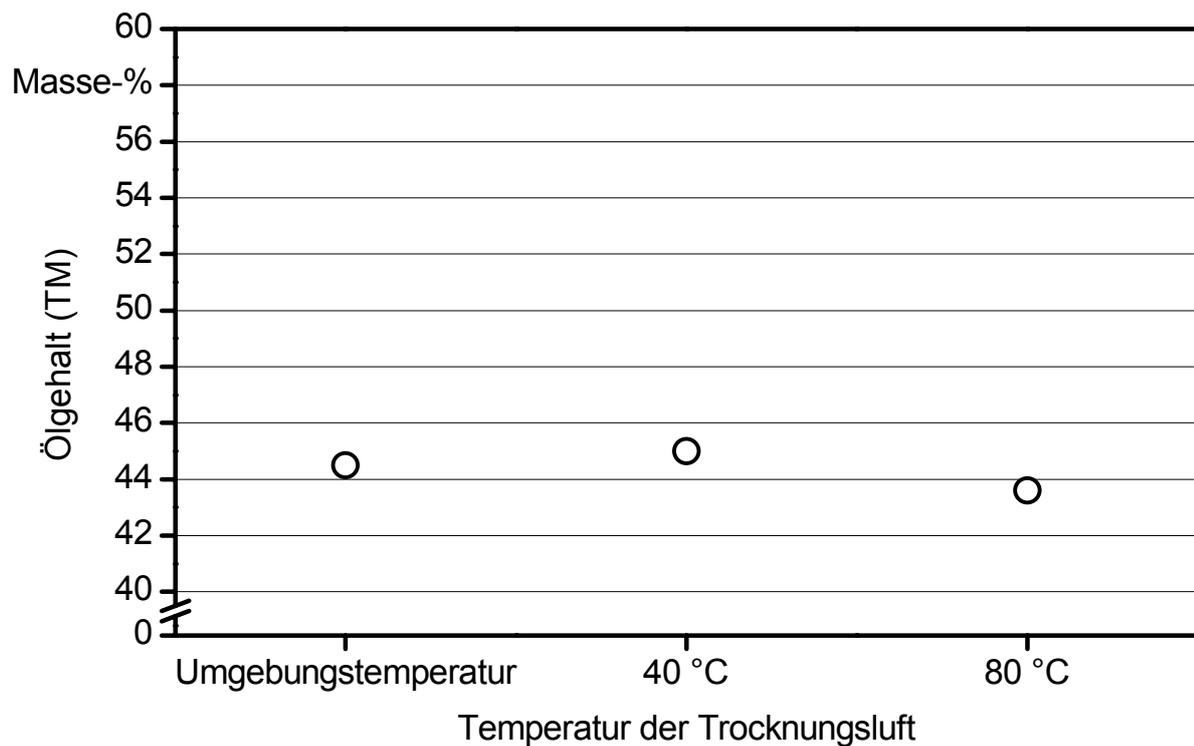


Abbildung 88: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Ölgehalt (TM) (EN ISO 10565) der Rapssaat

5.3.6.2 Eigenschaften des Rapsöls

Säurezahl

Bei den durchgeführten Untersuchungen erhöhte sich die Säurezahl im Rapsöl durch steigende Temperaturen bei der Saattrocknung nicht. Eine geringfügige Verringerung der Säurezahl wurde beobachtet. Abbildung 89 zeigt die Versuchsergebnisse.

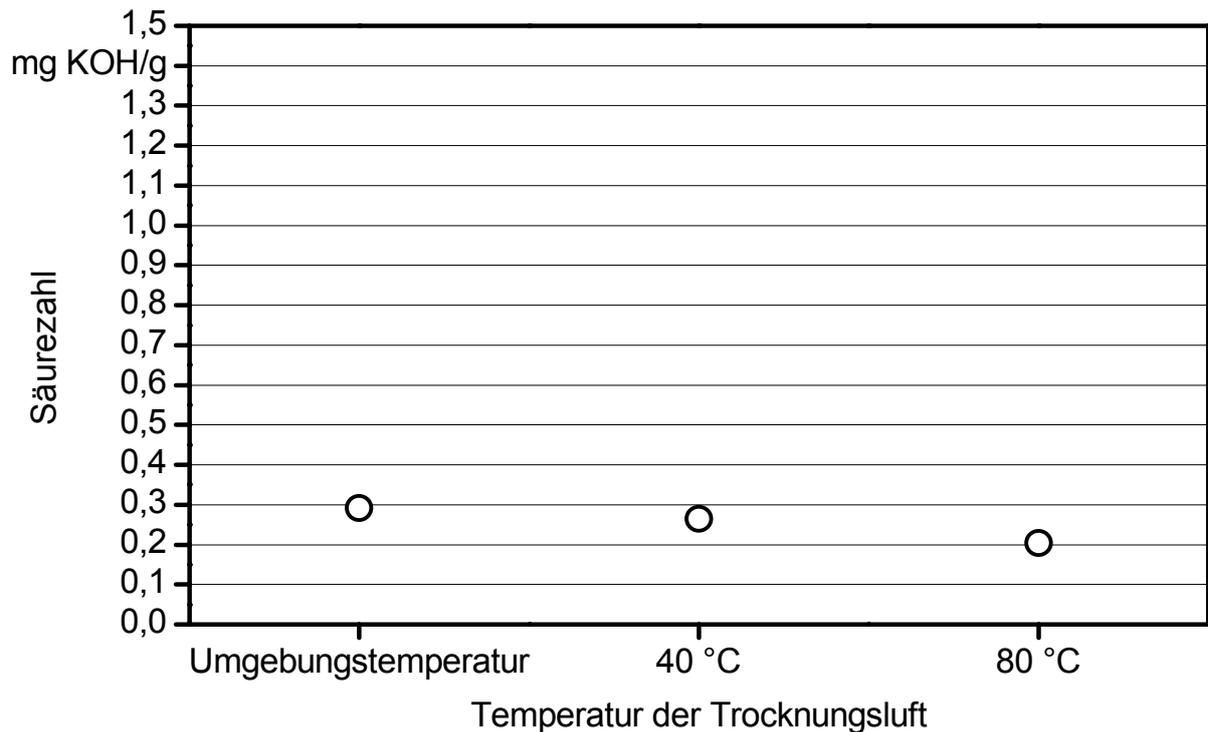


Abbildung 89: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Säurezahl (DIN EN 14104) des Rapsöls

Oxidationsstabilität

Die Oxidationsstabilität im Rapsöl wurde durch die Temperatur der Trocknungsluft bei der Saattrocknung, wie Abbildung 90 zeigt, nicht beeinflusst. Bei Trocknungstemperaturen von 40 °C und 80 °C wurden geringfügig bessere Ergebnisse erzielt als bei der Variante Umgebungstemperatur.

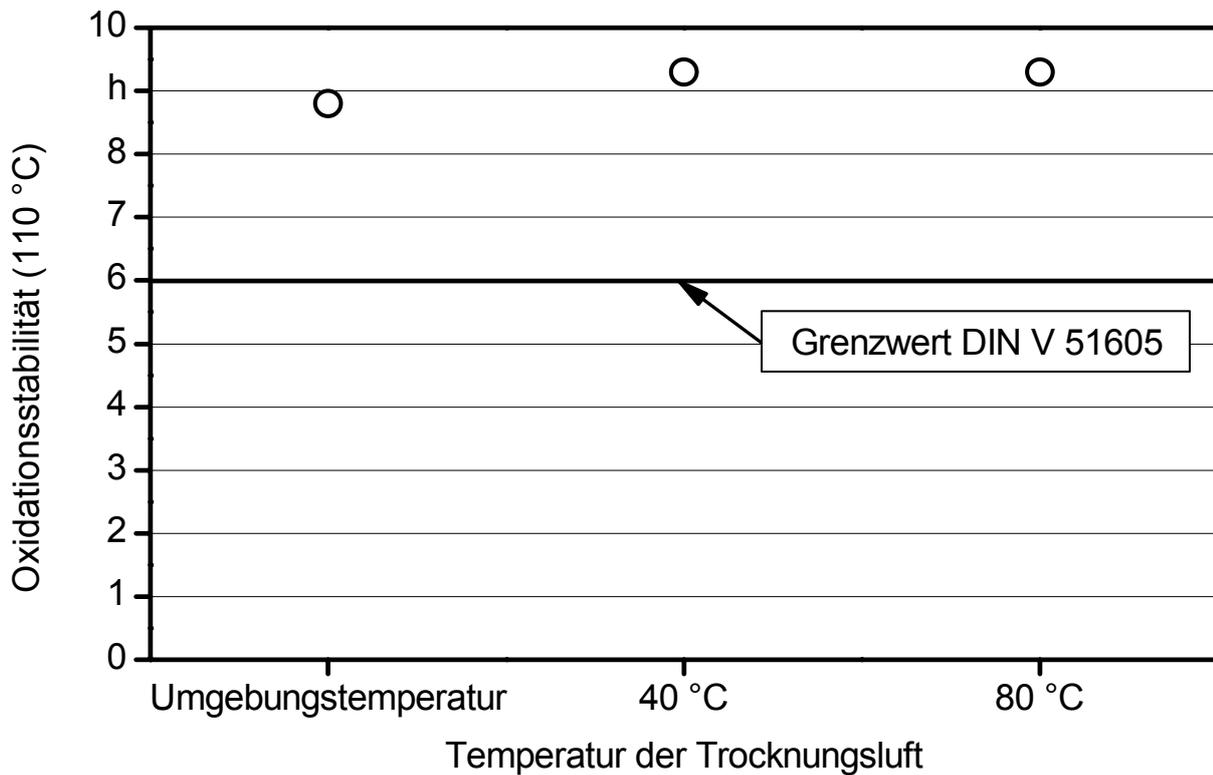


Abbildung 90: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf die Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) des Rapsöls

Phosphorgehalt

Der Phosphorgehalt im Rapsöl wird durch Saattrocknungstemperaturen von 40 °C und 80 °C nicht negativ beeinflusst. Die gemessenen Werte liegen deutlich unter dem Grenzwert von 12 mg/kg gemäß DIN V 51605. Die Zusammenhänge sind in Abbildung 91 dargestellt.

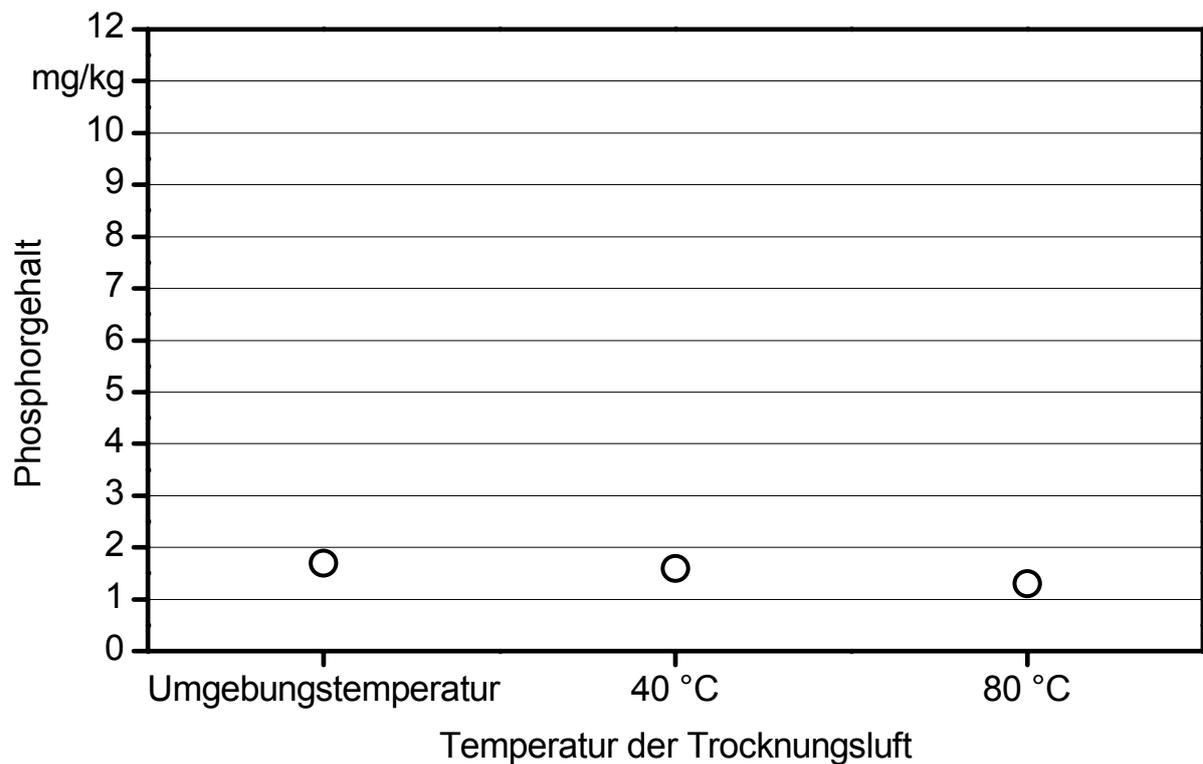


Abbildung 91: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Phosphorgehalt (DIN EN 14107) des Rapsöls

Summengehalt Calcium- und Magnesium

Wie bereits der Phosphorgehalt, dargestellt in Abbildung 91, ändert sich auch der Summengehalt an Calcium und Magnesium in Rapsöl durch die in den Untersuchungen gewählten Temperaturen der Trocknungsluft bei der Saattrocknung nicht negativ. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Varianten zeigt Abbildung 92.

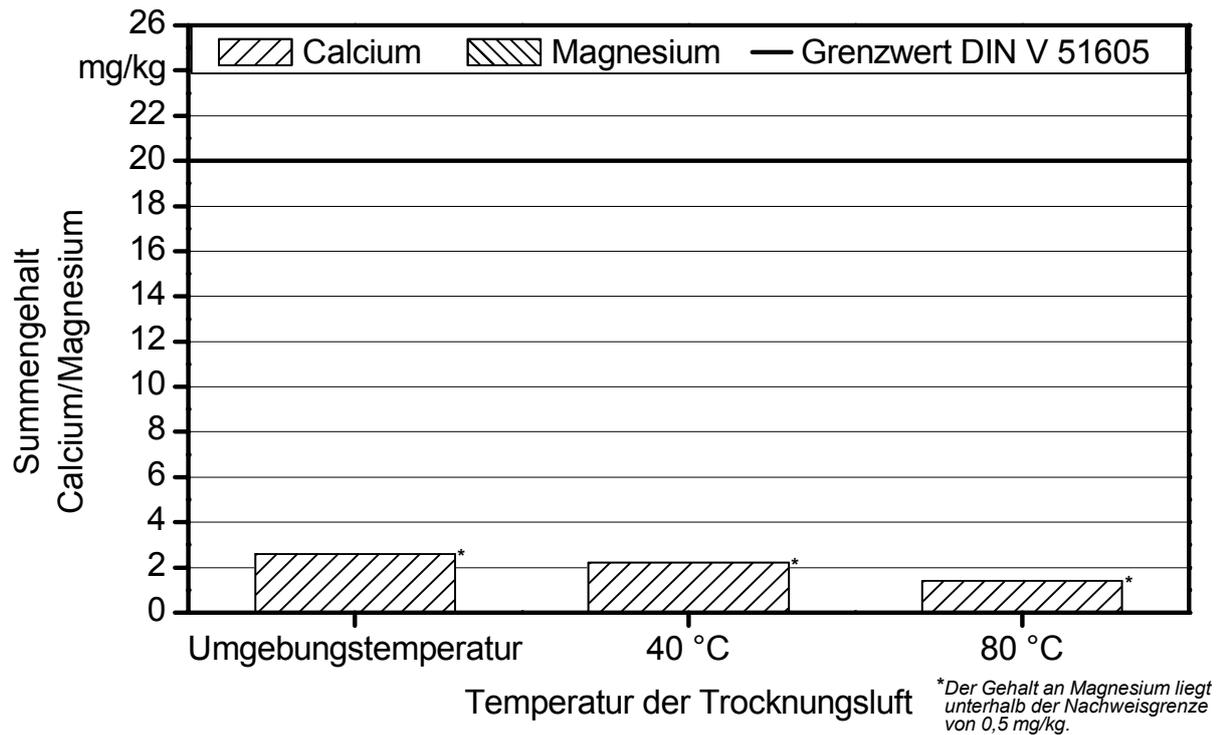


Abbildung 92: Einfluss der Saattrocknungstemperatur auf den Summengehalt an Calcium und Magnesium (DIN EN 14538) des Rapsöls

5.3.7 Zusammenfassung Einfluss der Rapssaat auf die Rapsölqualität

Winterrapssorten unterscheiden sich in ihrem Einfluss auf die Qualität von Rapsölkraftstoff nicht, 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-Sommerrapssorten können deshalb bezüglich der Oxidationsstabilität des Öls Vorteile aufweisen. 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 können innerhalb einer Sorte zwischen den Erntejahren deutlich variieren.

An Rapssorten zur Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen 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.

Sowohl die Säurezahl als auch die Oxidationsstabilität sowie die Elementgehalte im Rapsöl werden durch Besatz in der Rapssaat ungünstig beeinflusst. Die in den Untersuchungen festgestellten Änderungen sind zwar gering, können jedoch unter Umständen, zum Beispiel bei der Verarbeitung vorgeschädigter Saat, zu Grenzwertüberschreitungen führen.

Sehr große Auswirkungen auf die Qualität des Rapsöls hat der Reifegrad der Saat. Sowohl die Säurezahl und die Oxidationsstabilität als auch die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium werden mit zunehmender Ausreifung der Saat positiv beeinflusst. Für eine erfolgreiche Rapsölkraftstoffproduktion in dezentralen Anlagen ist demnach der richtige Erntezeitpunkt der Saat eine der wesentlichen Voraussetzungen. Durch spätere Erntetermine lassen sich zudem Ertragsverluste verringern [17].

Auswuchs in der Rapssaat wirkt sich bei der Verarbeitung in dezentralen Ölgewinnungsanlagen auf die Parameter Säurezahl, Oxidationsstabilität und Elementgehalte im Rapsöl negativ aus. Der Einfluss auf die Säurezahl und die Elementgehalte ist groß, auf die Oxidationsstabilität hingegen gering.

Versuchsvarianten mit Anteilen geschälter Saat schnitten gegenüber der nicht geschälten Variante bei kraftstoffspezifischen Parametern tendenziell schlechter ab. Die Säurezahl und die Elementgehalte in Rapsöl werden jedoch mit steigendem Anteil geschälter Saat günstig beeinflusst. Diese in sich widersprüchlichen Ergebnisse sind bisher nicht erklärbar. Auf die Oxidationsstabilität des Rapsöls nimmt die Schälung der Saat keinen Einfluss. Soll geschälte Saat verarbeitet werden, so sollte die Schälung unmittelbar vor der Verarbeitung erfolgen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zur Saattrocknung wurden weder die Säurezahl, die Oxidationsstabilität, der Phosphorgehalt noch der Summehalt an Calcium und Magnesium durch Temperaturen der Trocknungsluft von 40 °C und 80 °C negativ beeinflusst. Tendenziell wurden mit steigender Temperatur sogar geringfügig günstigere Eigenschaften im Öl erzielt.

5.3.8 Einfluss der Prozessparameter bei der Ölpressung

Der Einfluss der Schneckendrehzahl bei der Ölpressung auf den Abpressgrad und die Elementgehalte in Rapsölkraftstoff, als Ergebnis von Untersuchungen an zwei Praxis-Ölmühlen mit Seiherstab-Schneckenpressen, wird nachfolgend beschrieben.

Ölmühle A

Durch die Variation der Schneckendrehzahl in zwei Stufen 19 min^{-1} und 28 min^{-1} wird bei der Ölpresse AP 15 der überdurchschnittliche Abpressgrad von 83 Masse-% nicht beeinflusst. Hingegen ist der Phosphorgehalt mit $5,9 \text{ mg/kg}$ bei der Schneckendrehzahl von 28 min^{-1} , gegenüber einem Gehalt von $3,6 \text{ mg/kg}$ bei einer Drehzahl von 19 min^{-1} , erhöht. Mit Erhöhung der Schneckendrehzahl steigt auch der Summengehalt an Calcium- und Magnesium von $5,1 \text{ mg/kg}$ auf $9,0 \text{ mg/kg}$.

Ölmühle B

Den Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Abpressgrad bei der Ölpresse AP 12 des Herstellers Reinartz zeigt Abbildung 93. Der Abpressgrad von knapp 80 Masse-% bei einer Schneckendrehzahl von 8 min^{-1} , verringert sich bei den Drehzahlen 10 min^{-1} und 12 min^{-1} auf 78 Masse-%.

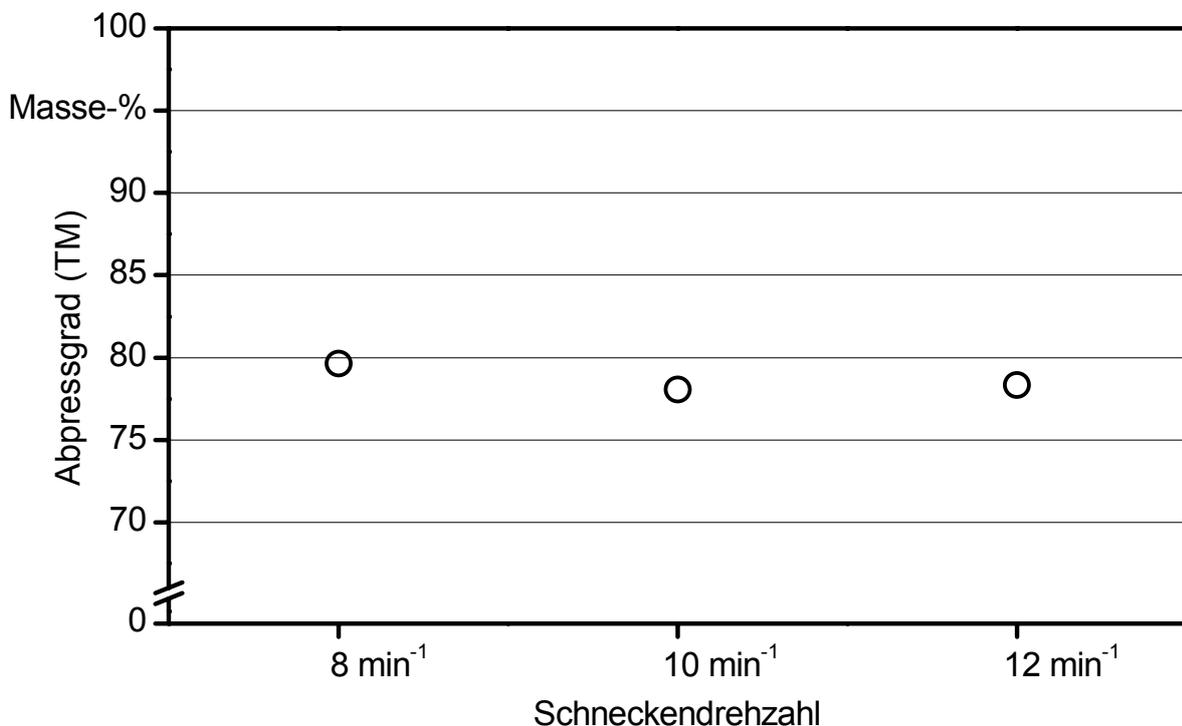


Abbildung 93: Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Abpressgrad bei der Ölpresse AP12 des Herstellers Reinartz

Hinsichtlich der Gehalte an den Elementen Phosphor, Calcium und Magnesium im Rapsöl ergibt sich ein Optimum bei einer Schneckendrehzahl von 10 min^{-1} . Abbildung 94 und Abbildung 95 zeigen die analysierten Elementgehalte im Rapsöl in Abhängigkeit von der Schneckendrehzahl bei der Ölpressung.

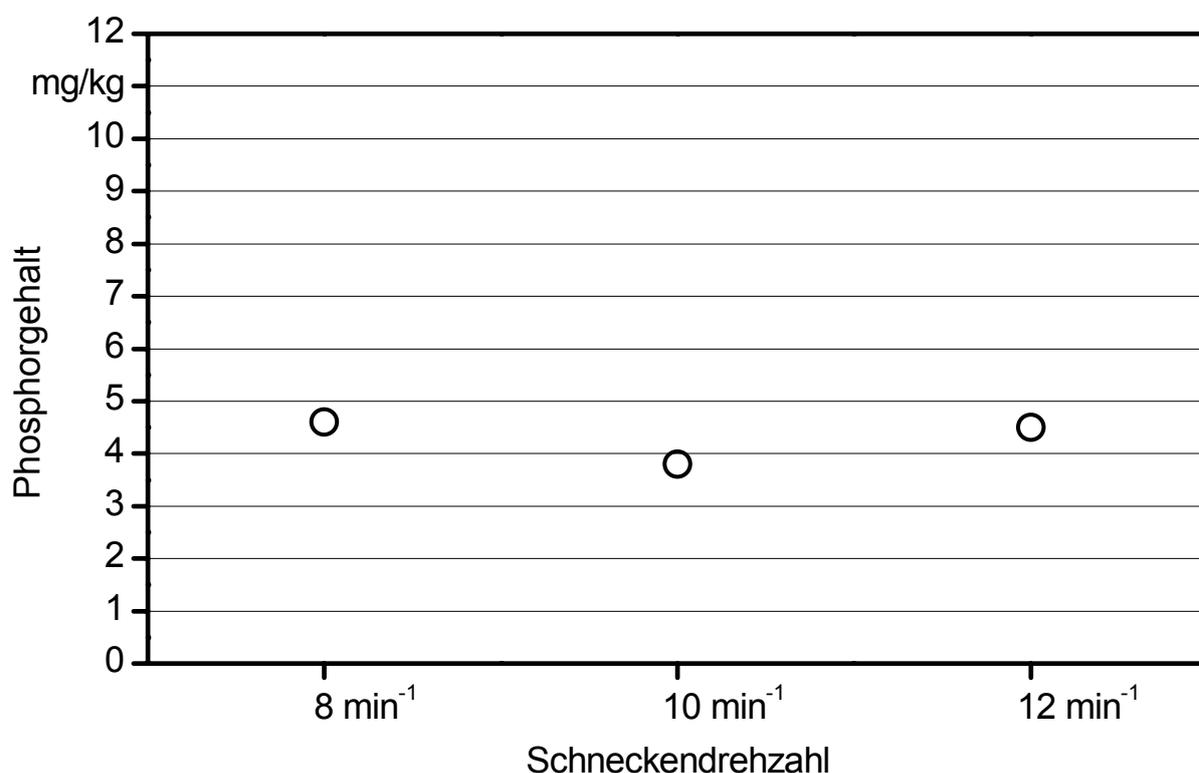


Abbildung 94: Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Phosphorgehalt im Rapsöl bei der Öl-
presse AP12 des Herstellers Reinartz

Mit den Untersuchungen konnten die von WIDMANN (1994) [56], WIDMANN (1998) [57], REMMELE et al. 2000 [39], REMMELE (2002) [40] sowie ATTENBERGER et al. [4] beschriebenen Einflüsse der Schneckendrehzahl bei der Ölpressung auf die Rapsöleigenschaften an einer Lochseiher-Schneckenpresse mit geringer Verarbeitungskapazität, an zwei Seiherstab-Schneckenpressen mit vergleichsweise höherer Verarbeitungskapazität nachvollzogen werden. Durch die Wahl der Schneckendrehzahl bei der Ölpressung kann sowohl bei Lochseiher- als auch bei Seiherstab-Schneckenpressen der Elementgehalt im Rapsöl beeinflusst werden.

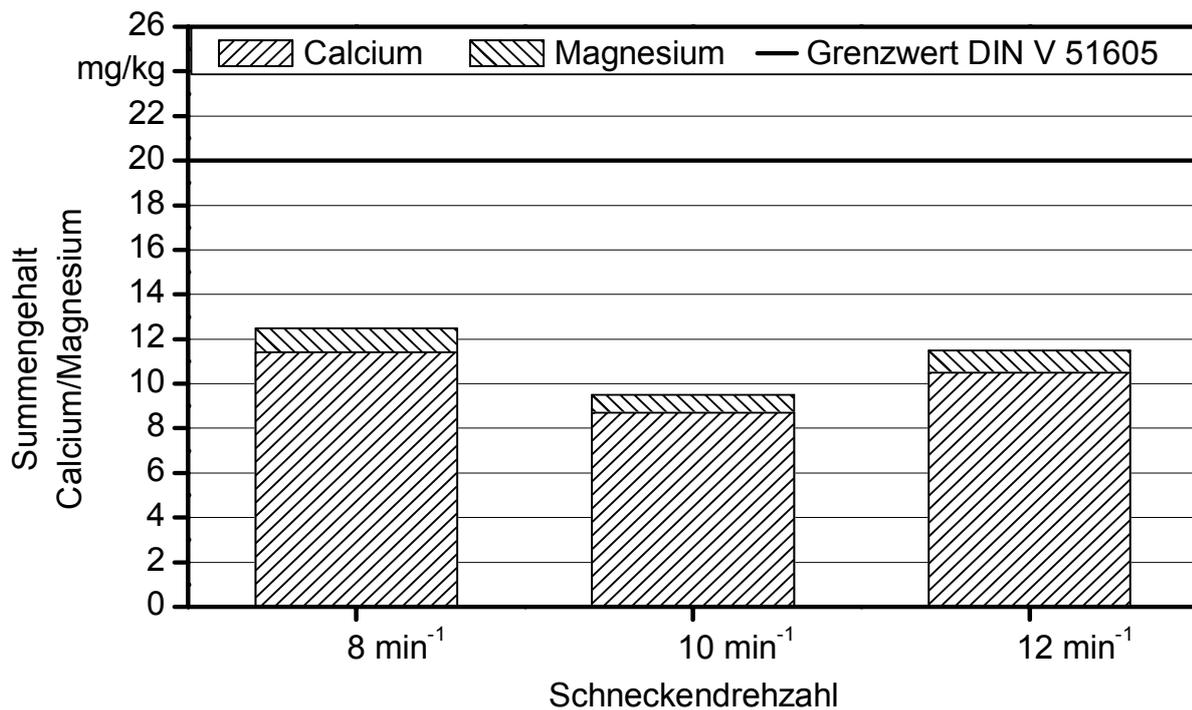


Abbildung 95: Einfluss der Schneckendrehzahl auf den Summengehalt an Calcium und Magnesium im Rapsöl bei der Ölpresse AP12 des Herstellers Reinartz

5.4 Endfiltration von Rapsölkraftstoff

Die Endfiltration ist ein wichtiger Verfahrensschritt bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung und nimmt wesentlichen Einfluss auf die Gesamtverschmutzung im Rapsölkraftstoff. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen mit verschiedenen Beutelfiltern, Kerzenfiltern und Tiefenschichtenfiltern dargestellt. Wie bereits in Kapitel 4.5, S. 50 beschrieben, wurde nicht jede während des Filtrationsversuchs entnommene Reinölprobe auf die Zielgrößen analysiert, so dass in den Abbildungen nicht zu jedem Probenahmezeitpunkt auch Analysenwerte dargestellt sind. Konnte aufgrund zu geringer Partikelkonzentration im Reinöl keine Partikelgrößenanalyse durchgeführt werden, sind diese Messwerte mit „k.A.“ (keine Analyse möglich) gekennzeichnet.

5.4.1 Beutelfilter

Hersteller Amafilter

Typ HPM 95-01-1-1 SS

Tabelle 13, Abbildung 96 und Abbildung 97 zeigen die Versuchsparameter, den Filtrationsverlauf und die Probenahmezeitpunkte der durchgeführten zwei Versuchswiederholungen mit dem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter. Der untersuchte Beutelfilter erfüllt die Anforderungen an einen Endfilter nicht. Wie Abbildung 98 und Abbildung 99 zeigt, wird die Gesamtverschmutzung im Trüböl durch die Filtration nicht verringert und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl bleibt nahezu unverändert.

Tabelle 13: Versuchsparameter Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	176	189
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	6,6	6,0
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	2,7	2,3

Typ AP 1/1/IS-1S

Im Gegensatz zum Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS konnte mit dem Typ AP 1/1/IS-1S eine geringfügige, jedoch nicht ausreichende Reduktion der Gesamtverschmutzung erzielt werden. Auch der Anteil großer Partikel im Öl wurde, wie Abbildung 102 und Abbildung 103 zeigen, in geringem Umfang reduziert. Die Anforderungen an einen Endfilter werden jedoch nicht erfüllt. Die Versuchsdurchführung ist in Tabelle 14, Abbildung 100 und Abbildung 101 dokumentiert.

Tabelle 14: Versuchsparameter Beutelfilter AP 1/1/IS-1S

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	178	184
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	5,5	5,5
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	2,1	2,1

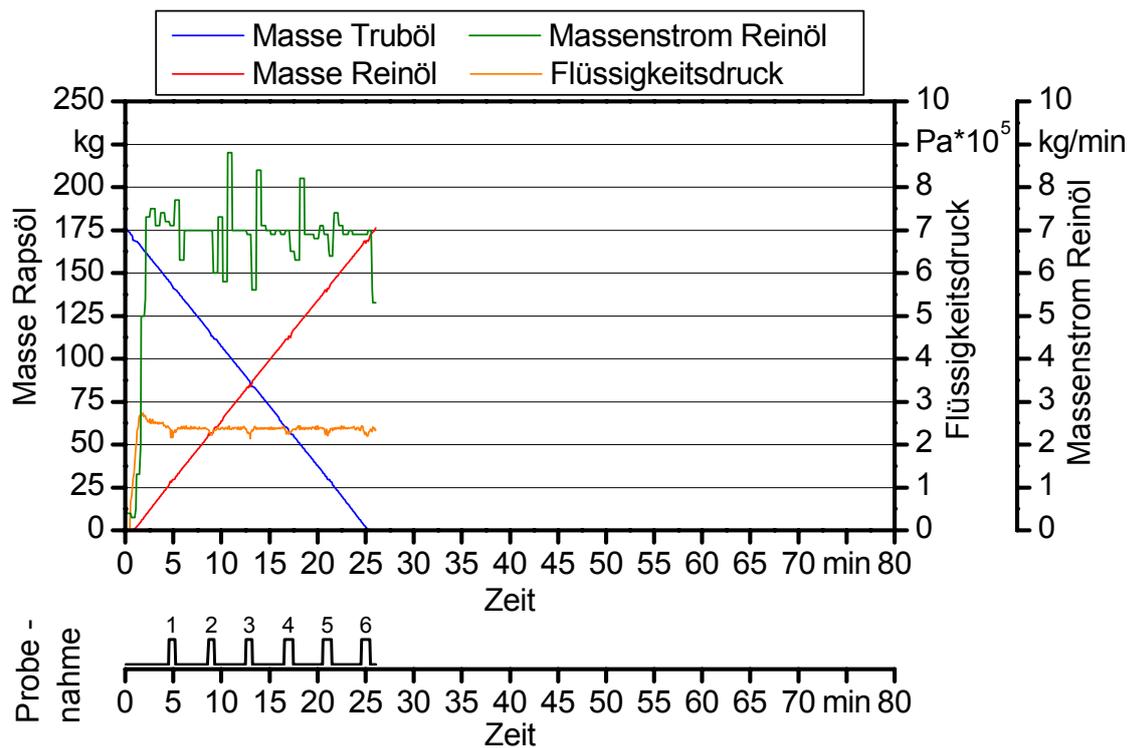


Abbildung 96: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

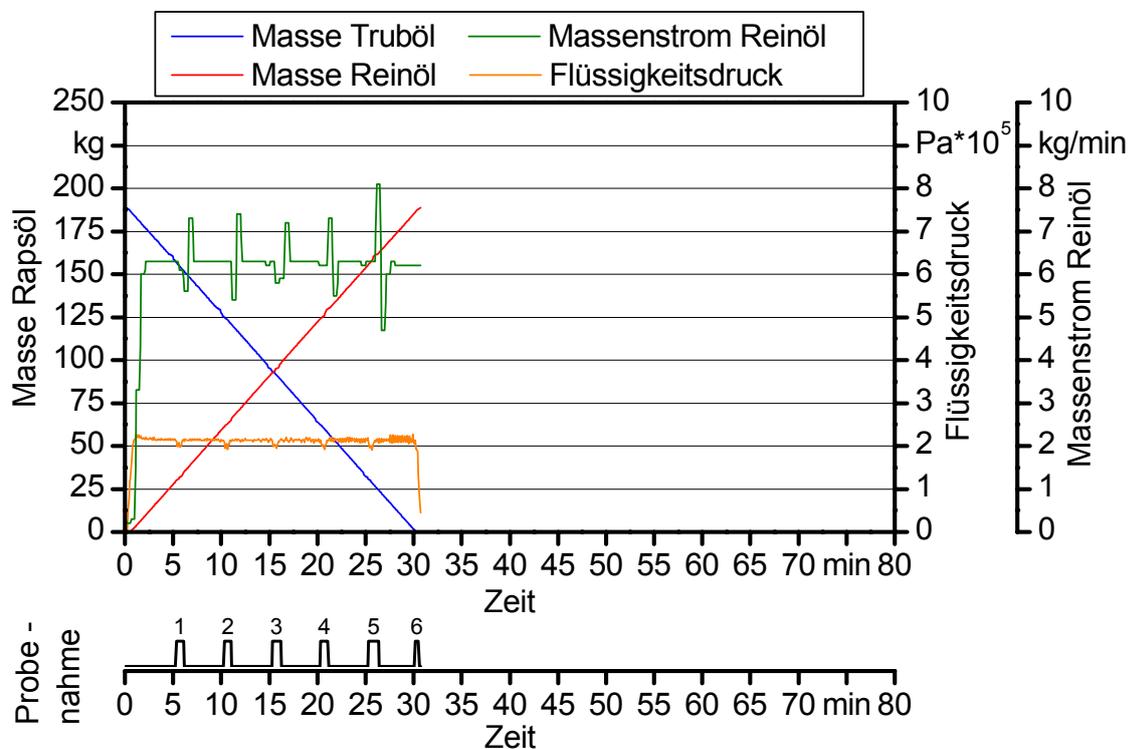


Abbildung 97: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

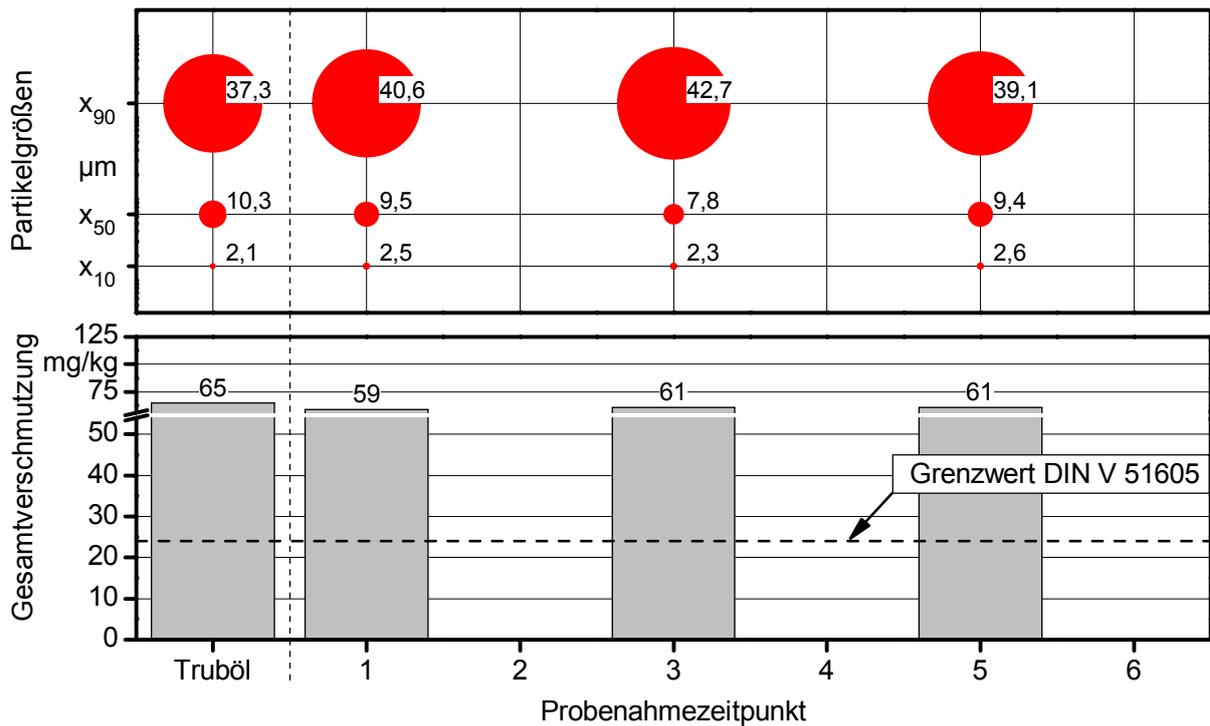


Abbildung 98: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

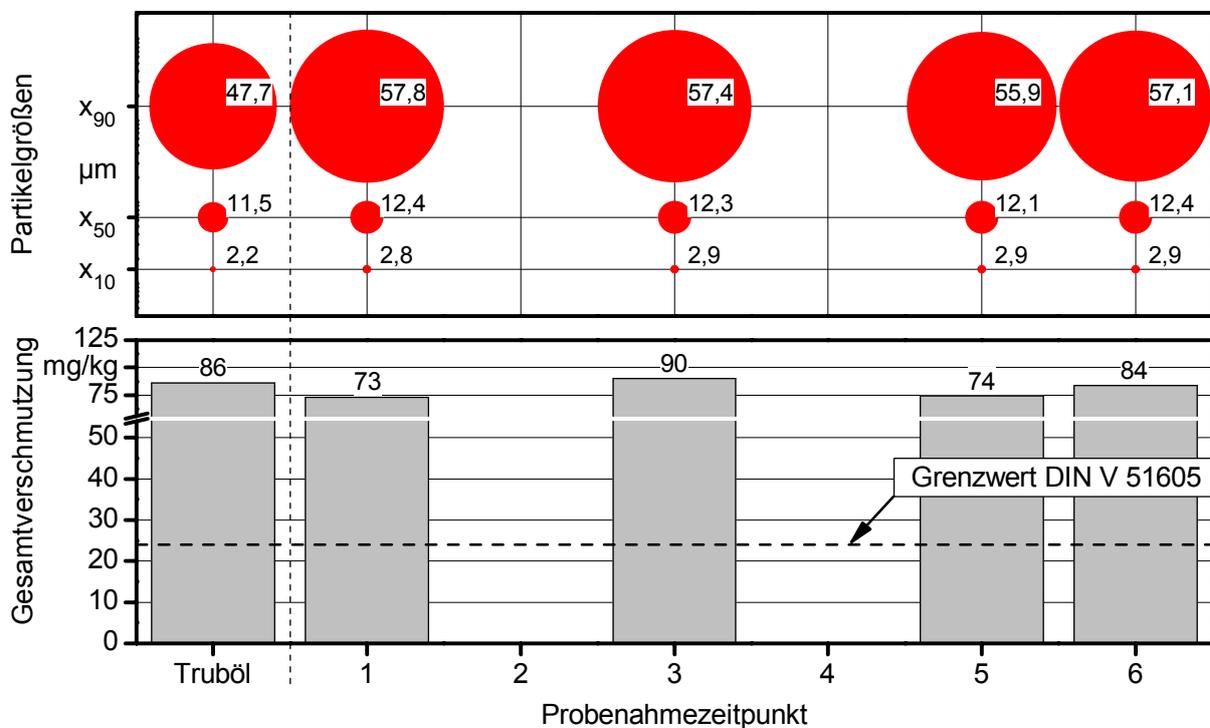


Abbildung 99: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

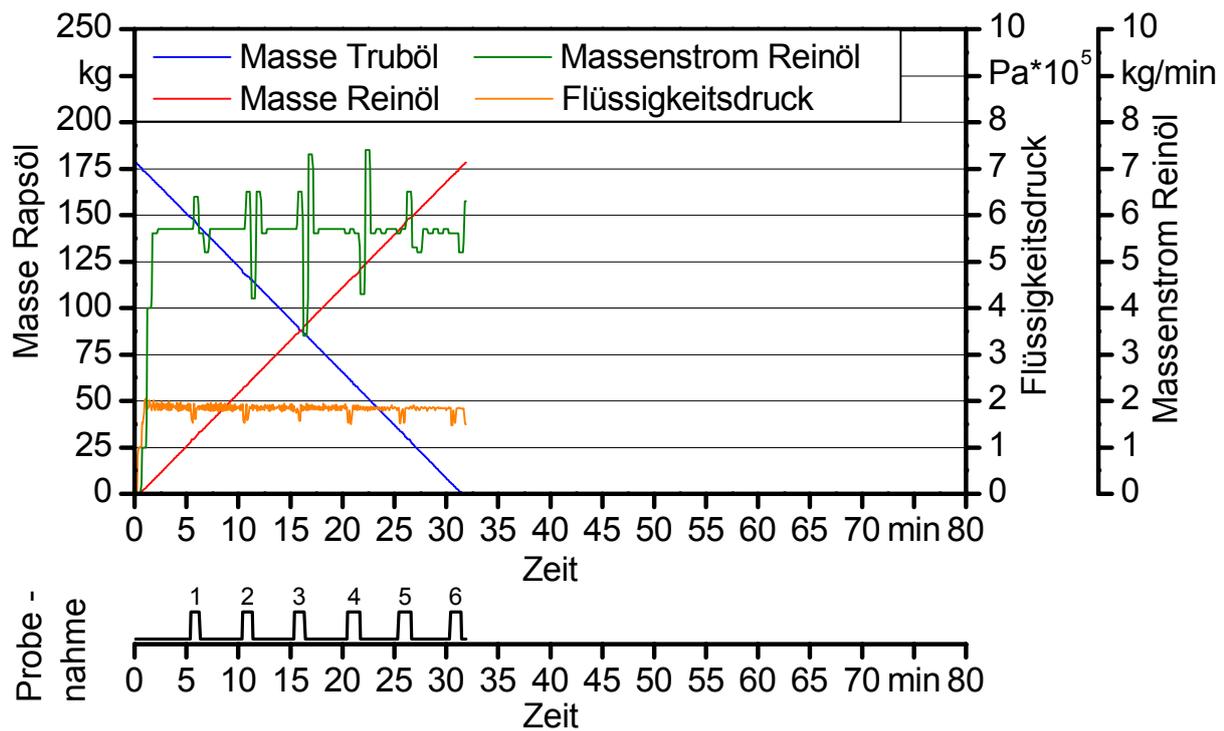


Abbildung 100: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

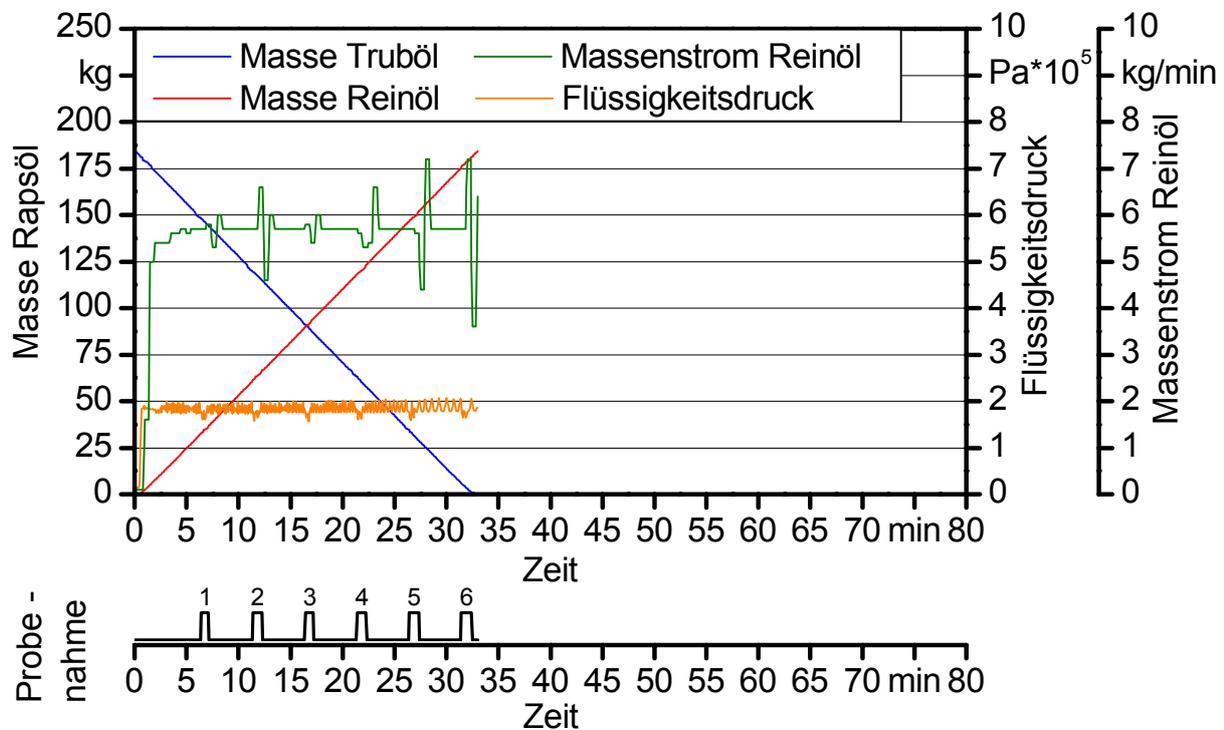


Abbildung 101: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

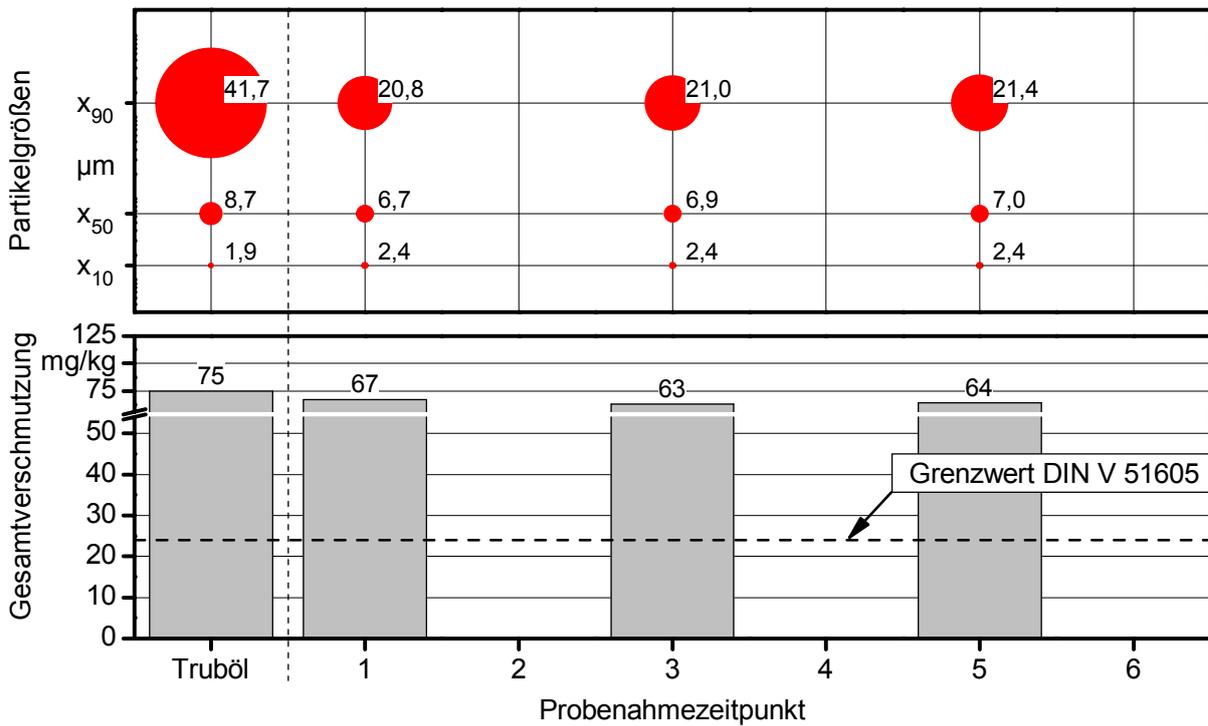


Abbildung 102: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/IS-IS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

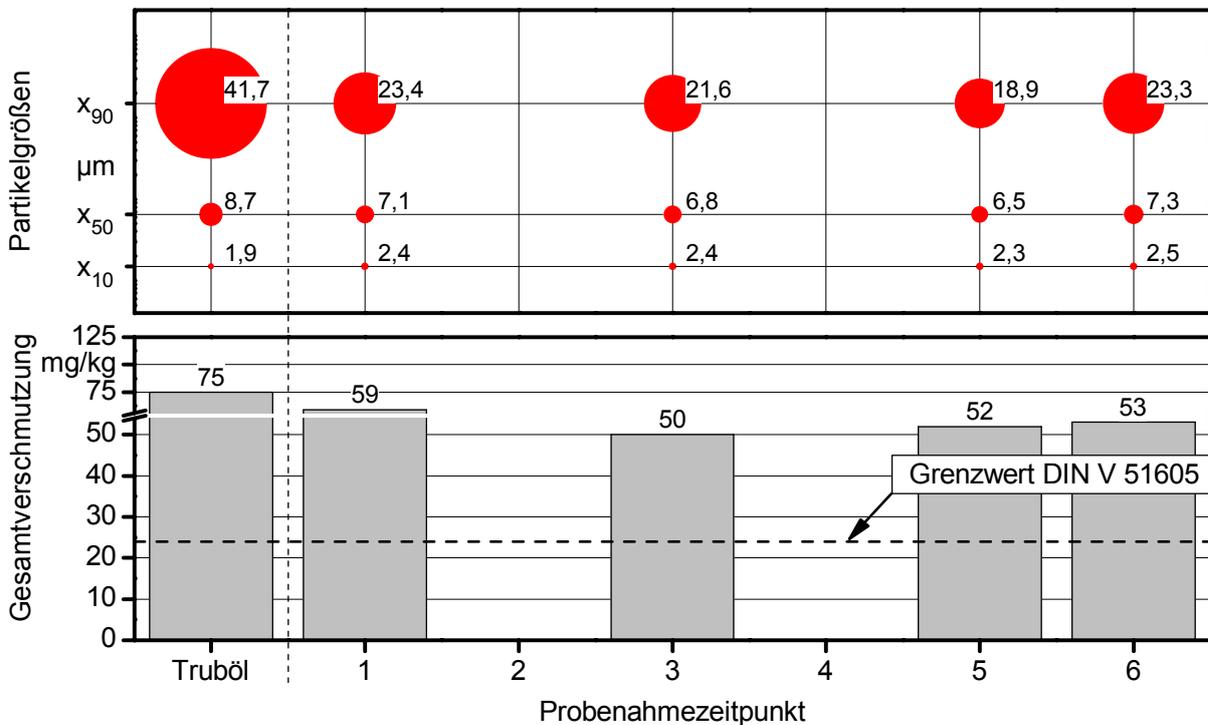


Abbildung 103: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter AP 1/1/IS-IS des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

Hersteller Filbertechnik Jäger
Typ 2-AXL-1 µm

In Tabelle 15, Abbildung 104 und Abbildung 105 sind die Versuchsparameter und der Filtrationsverlauf bei zwei Versuchswiederholungen mit dem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filbertechnik Jäger dargestellt. Durch die Filtration konnte sowohl die ursprüngliche Gesamtverschmutzung im Trüböl als auch der Anteil großer Partikel deutlich reduziert werden, wie in Abbildung 106 und Abbildung 107 gezeigt. Der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff wurde jeweils eingehalten. Das Filtrationsergebnis der Wiederholung 2 war hierbei etwas besser als bei der Wiederholung 1, da sich vermutlich bereits ein Filterkuchen im Beutel aufgebaut hat.

Tabelle 15: Versuchsparameter Beutelfilter 2-AXL-1 µm

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	195	187
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,0	3,0
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	1,5	1,4

Typ 2-PES-1 µm/P

Mit dem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filbertechnik Jäger, konnte die Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung in Höhe von 24 mg/kg nicht gewährleistet werden. Die Gesamtverschmutzung im Trüböl wurde zwar reduziert und auch der Anteil großer Partikel im Öl wurde vermindert, jedoch konnten vermutlich feine Partikel nicht ausreichend zurückgehalten werden, wie die Auswertung der Partikelgrößenverteilung in Abbildung 110 und Abbildung 111 zeigt. Der Filtrationsverlauf ist in Tabelle 16, Abbildung 108 und Abbildung 109 dokumentiert.

Tabelle 16: Versuchsparameter Beutelfilter 2-PES-1 µm/P

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	195	187
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,0	3,0
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	1,5	1,4

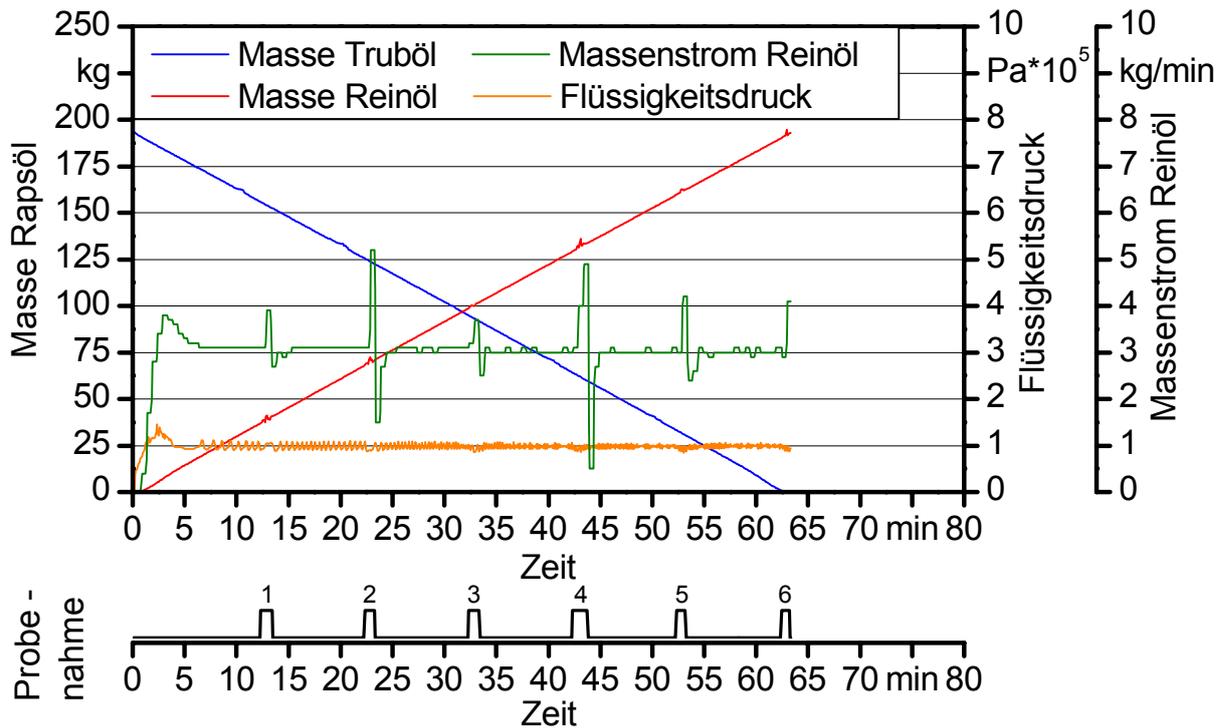


Abbildung 104: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 μm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1

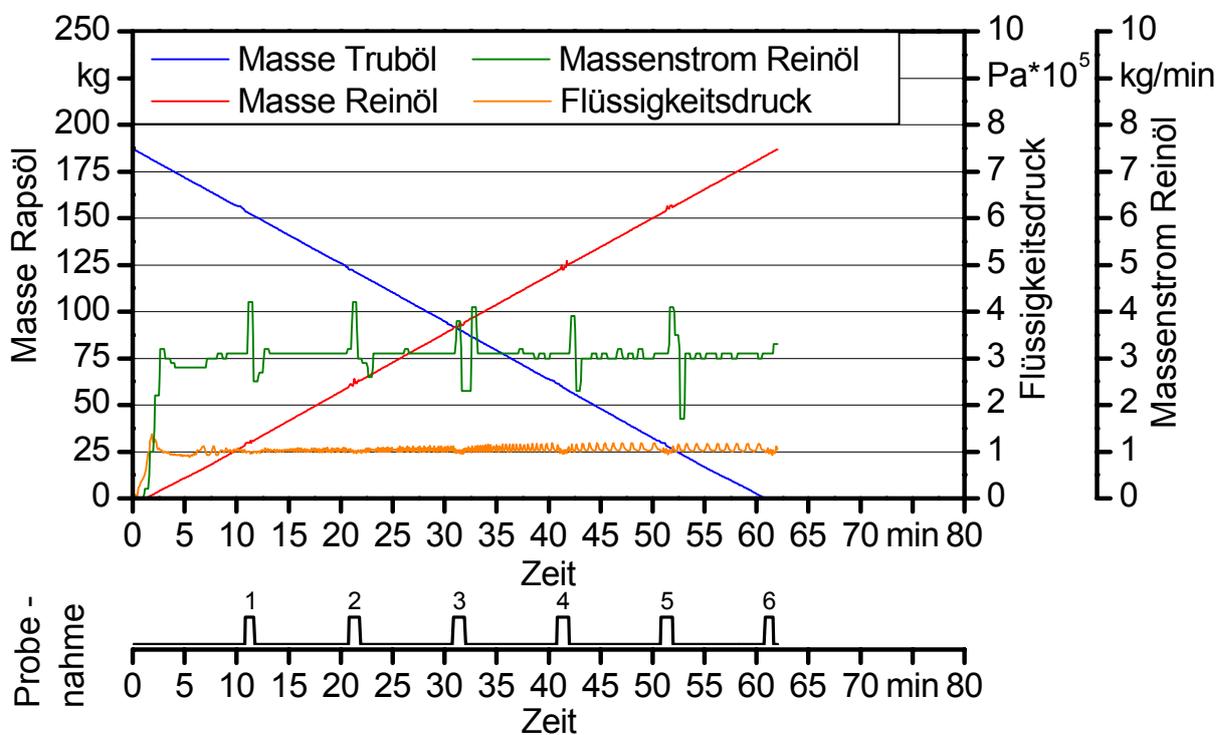


Abbildung 105: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 μm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2

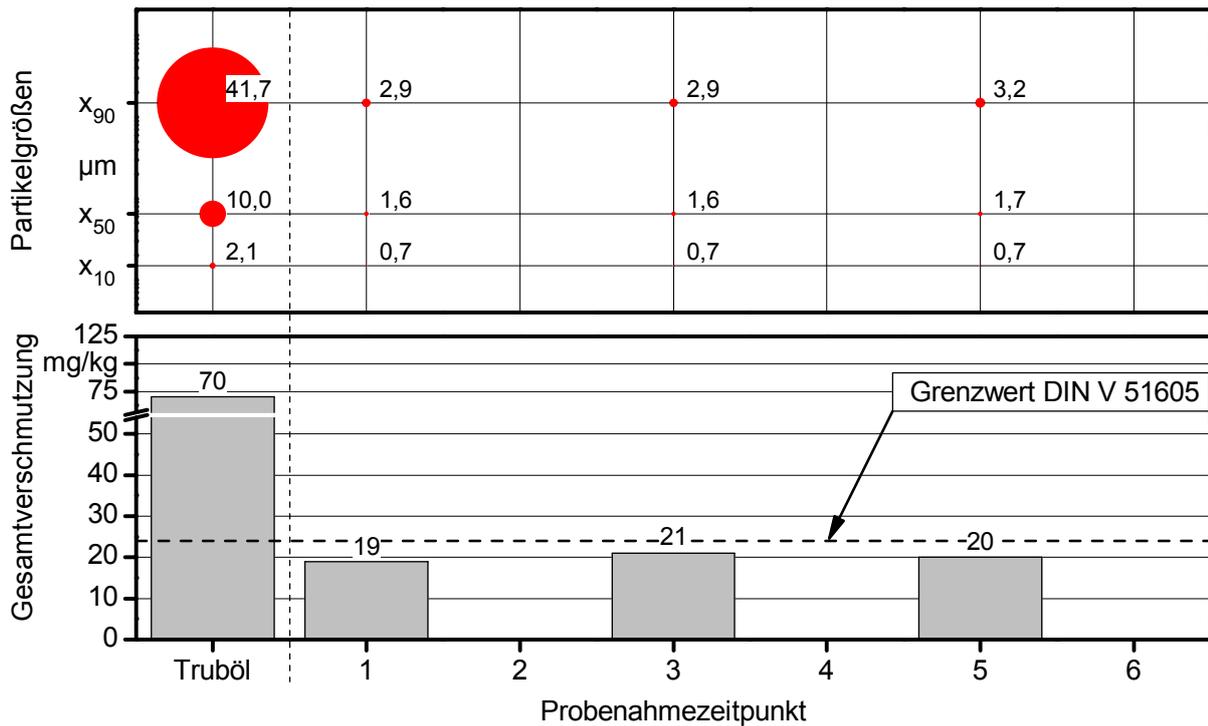


Abbildung 106: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1

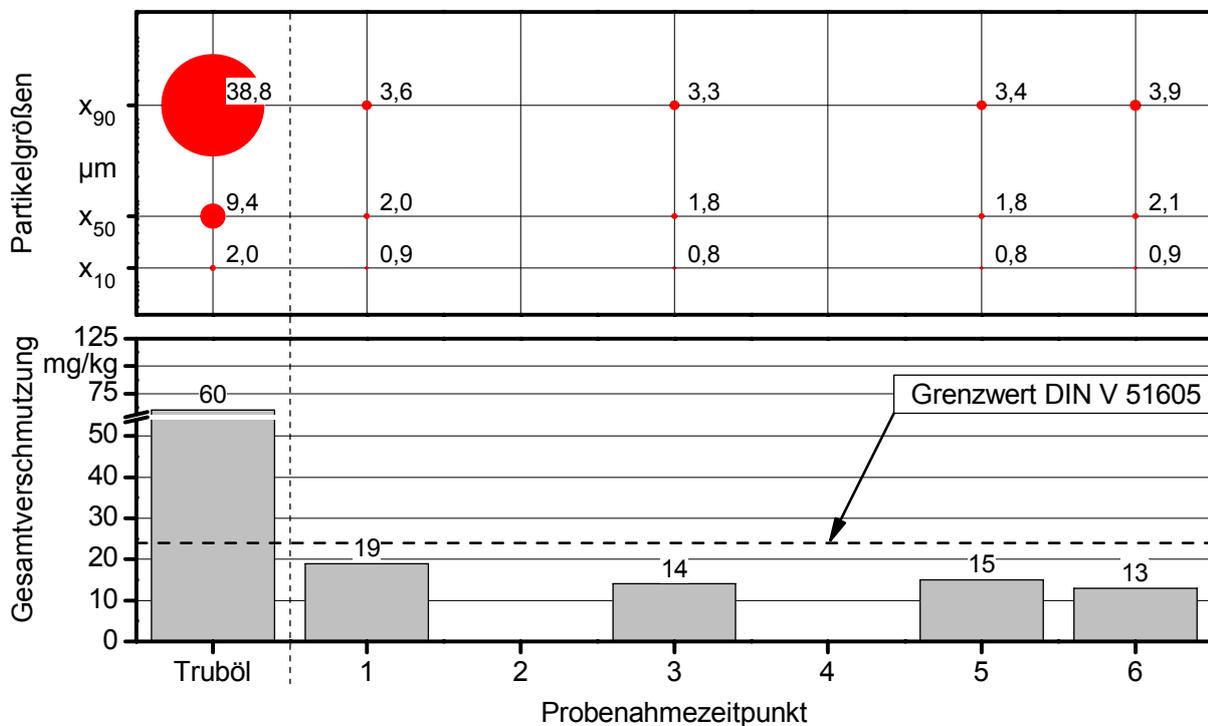


Abbildung 107: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2

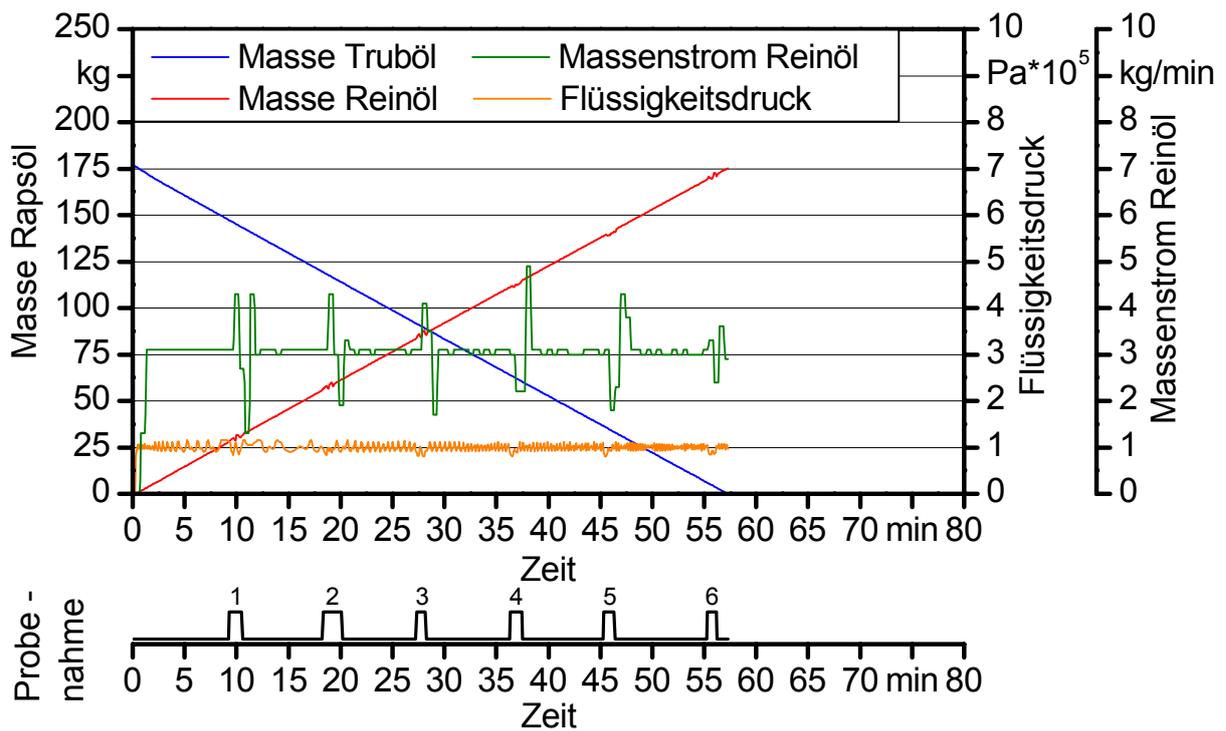


Abbildung 108: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1

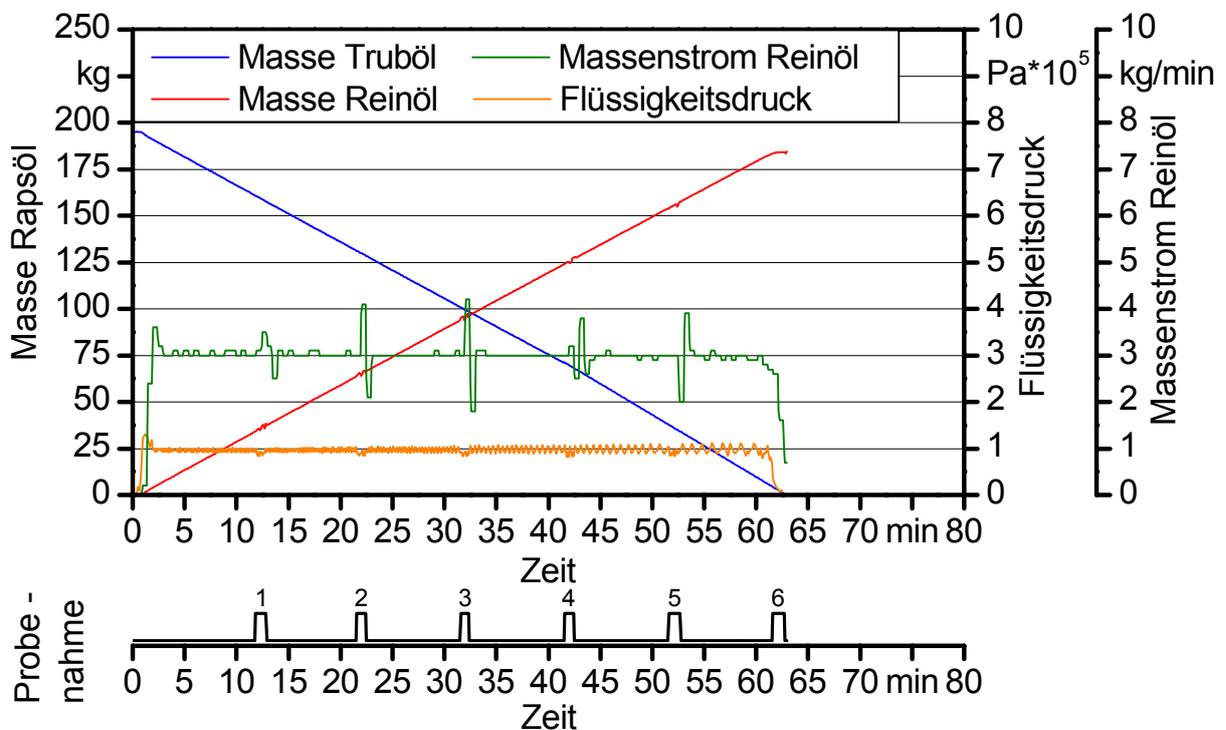


Abbildung 109: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2

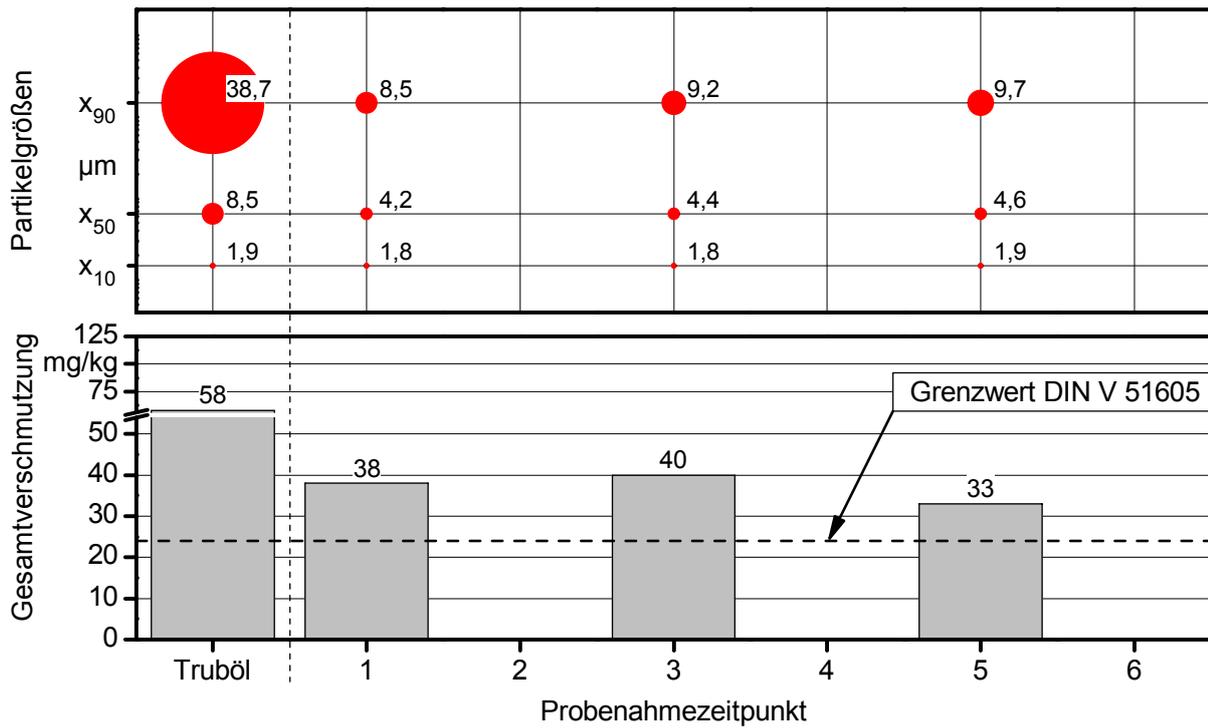


Abbildung 110: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filbertechnik Jäger - Wiederholung 1

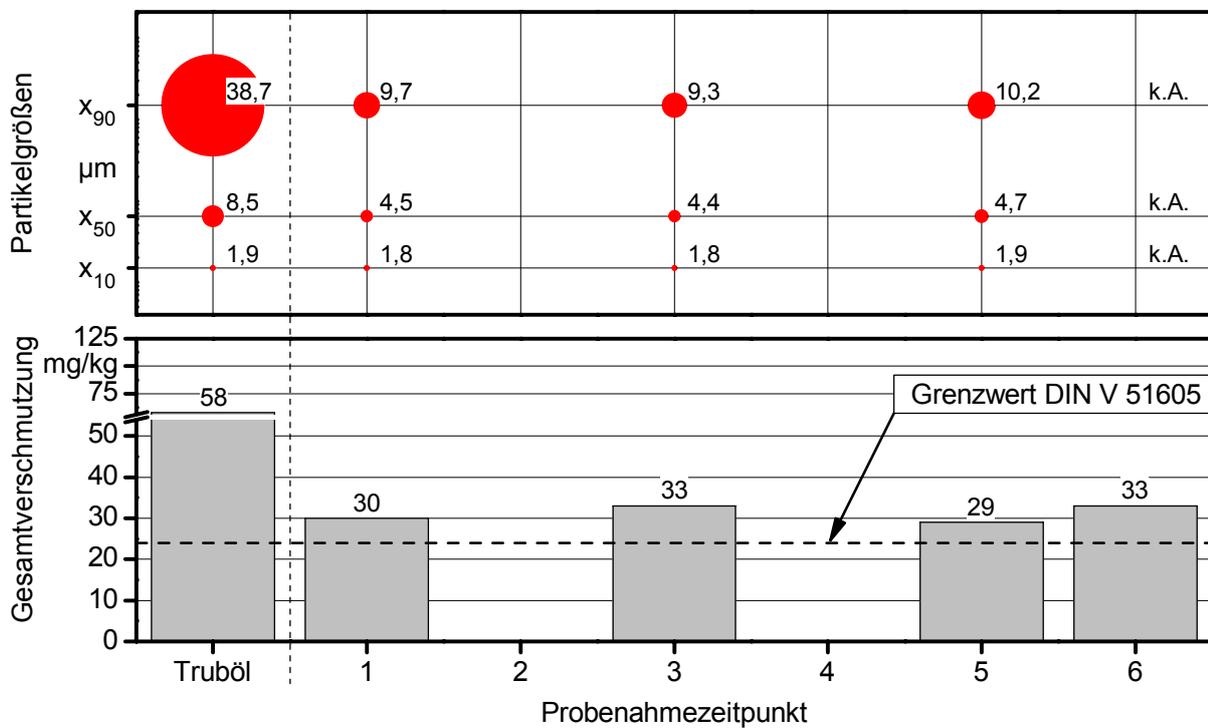


Abbildung 111: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter 2-PES-1 µm/P des Herstellers Filbertechnik Jäger - Wiederholung 2

5.4.2 Kerzenfilter

Hersteller Amafilter Typ GP 0,45-10U-X4N

Mit der Filterkerze GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter wurden sehr geringe Gesamtverschmutzungen, im Bereich der unteren Nachweisgrenze des Prüfverfahrens, erreicht. Die Partikelkonzentration im Reinöl war so gering, dass eine Messung der Partikelgrößenverteilung nicht möglich war. Die Ergebnisse sind in Abbildung 114 und Abbildung 115 dargestellt. Jedoch zeigen der Filtrationsverlauf in Abbildung 112 und Abbildung 113 sowie die Versuchsparameter in Tabelle 17, dass das Schmutzaufnahmevermögen der Filterkerze sehr gering ist. Dies macht sich vor allem im abnehmenden Massenstrom bei gleichbleibendem Flüssigkeitsdruck bemerkbar. Die Filterkerze GP 0,45-10U-X4N ist deshalb für eine Endfiltration nur dann empfehlenswert, wenn nach der Hauptreinigungsstufe bereits nur noch sehr geringe Partikelkonzentrationen im Rapsöl vorhanden sind.

Tabelle 17: Versuchsparameter Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	126	107
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,0	1,4
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	3,2	2,2

Typ EP 001-10-U-X4N

Der Filtrationsverlauf und die Versuchsparameter für die Tests mit dem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter sind in Tabelle 18, Abbildung 116 und Abbildung 117 zusammengestellt. Bei Wiederholung 1 ging der Massenstrom des Reinöls während des Versuchszeitraums sehr schnell zurück. Auch bei Wiederholung 2 konnte eine weitere Abnahme des Massenstroms beobachtet werden. Bei beiden Wiederholungen konnten aber jeweils eine sehr geringe Gesamtverschmutzung im Reinöl, wie Abbildung 118 und Abbildung 119 zeigen, erzielt werden. Eine Analyse der Partikelgrößenverteilung im Reinöl war nicht möglich, da die optische Konzentration zu gering war. Die Filterkerze EP 001-10-U-X4N ist als Endfilter geeignet, falls das Trüböl nach der Hauptreinigung nur noch eine geringe Gesamtverschmutzung aufweist.

Tabelle 18: Versuchsparameter Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	135	111
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	1,9	1,0
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	2,2	2,1

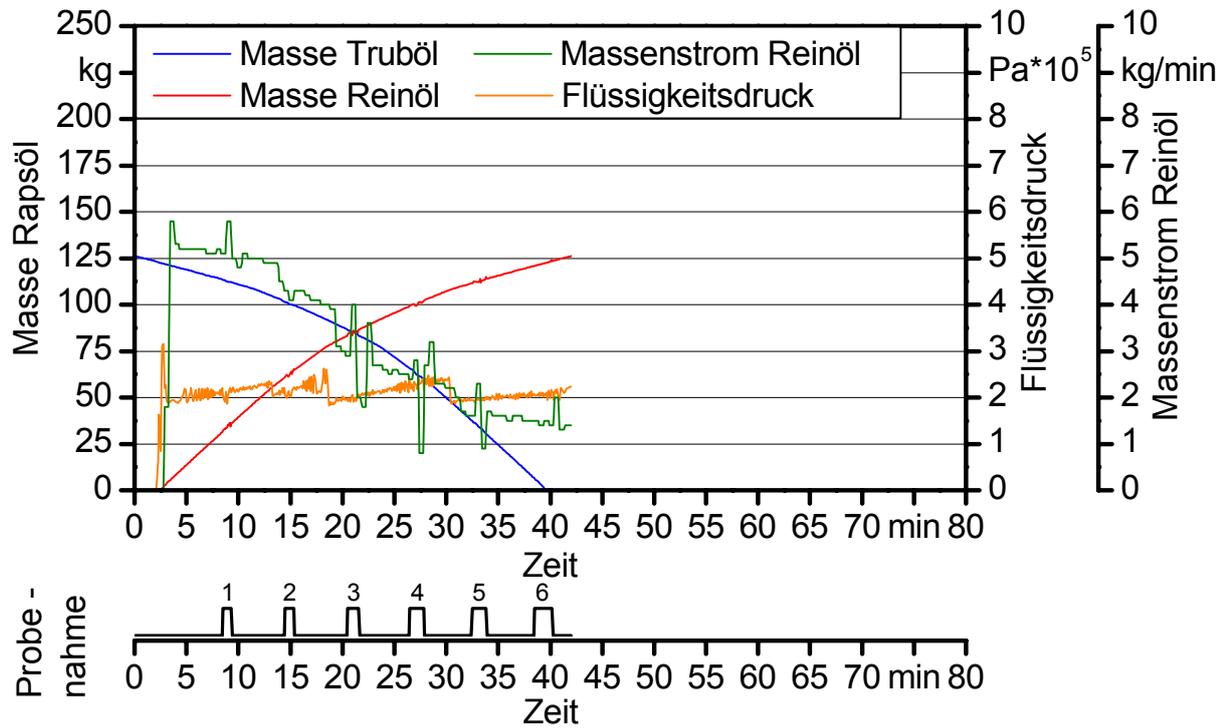


Abbildung 112: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

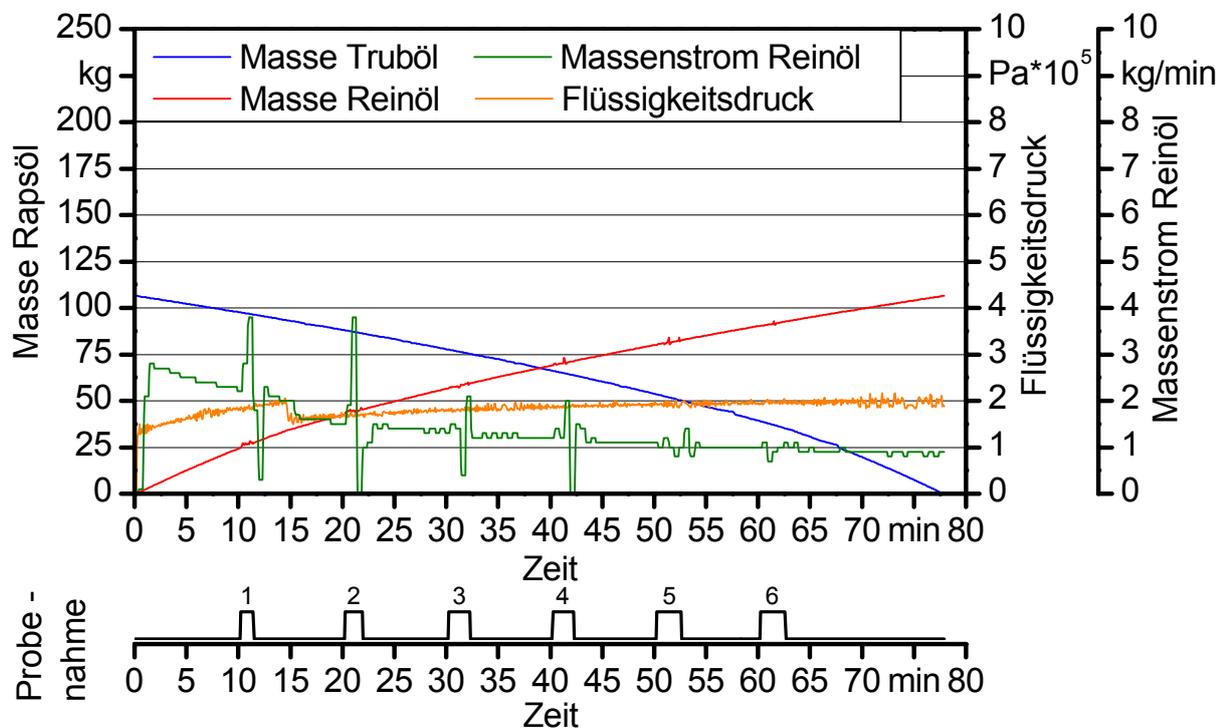


Abbildung 113: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

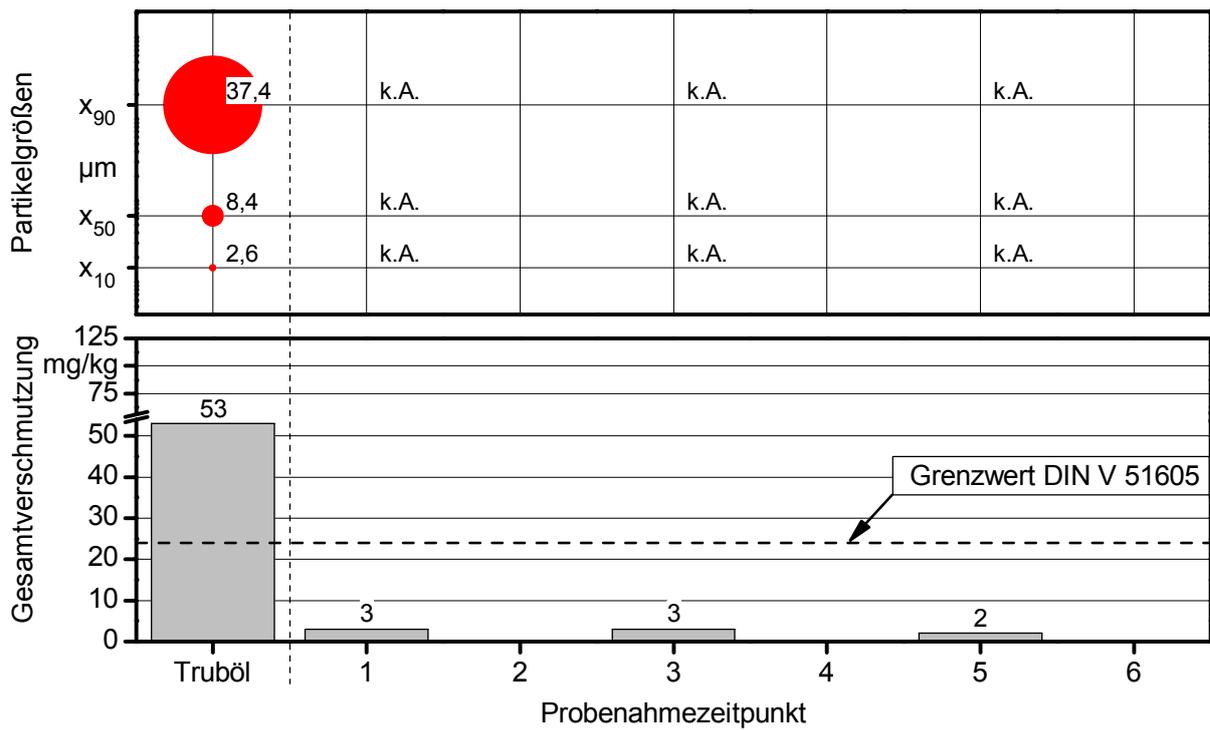


Abbildung 114: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

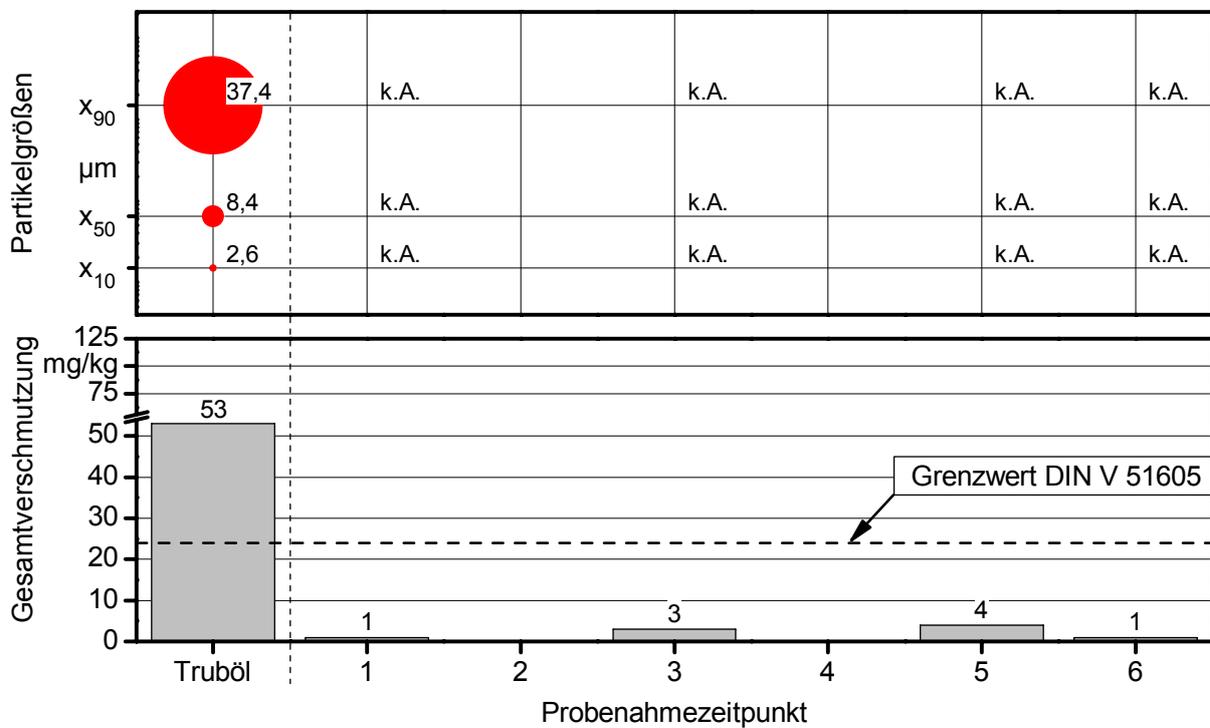


Abbildung 115: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

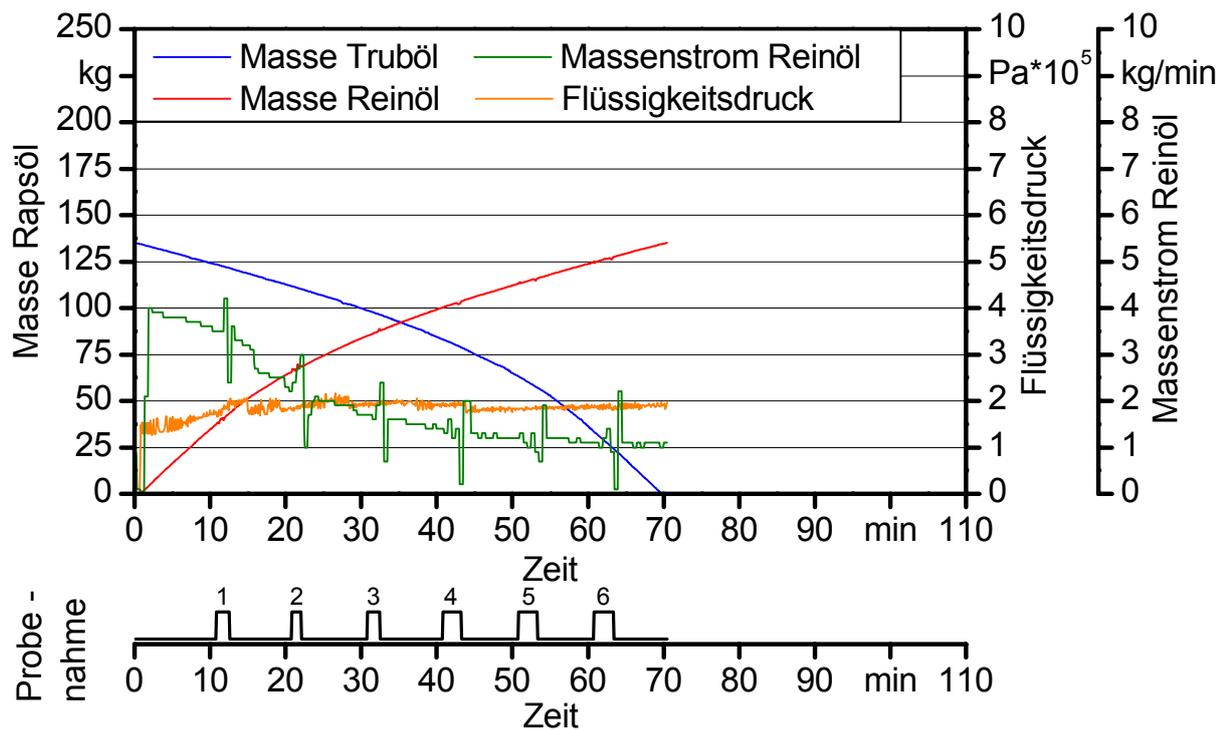


Abbildung 116: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

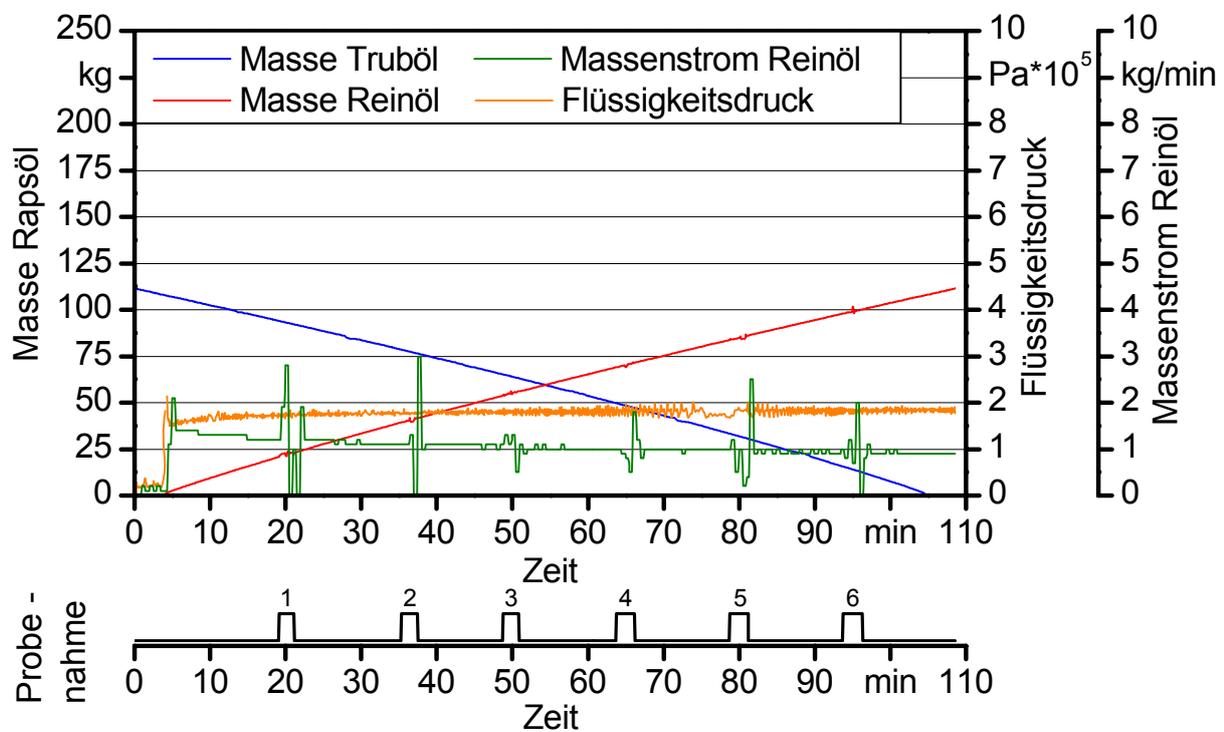


Abbildung 117: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

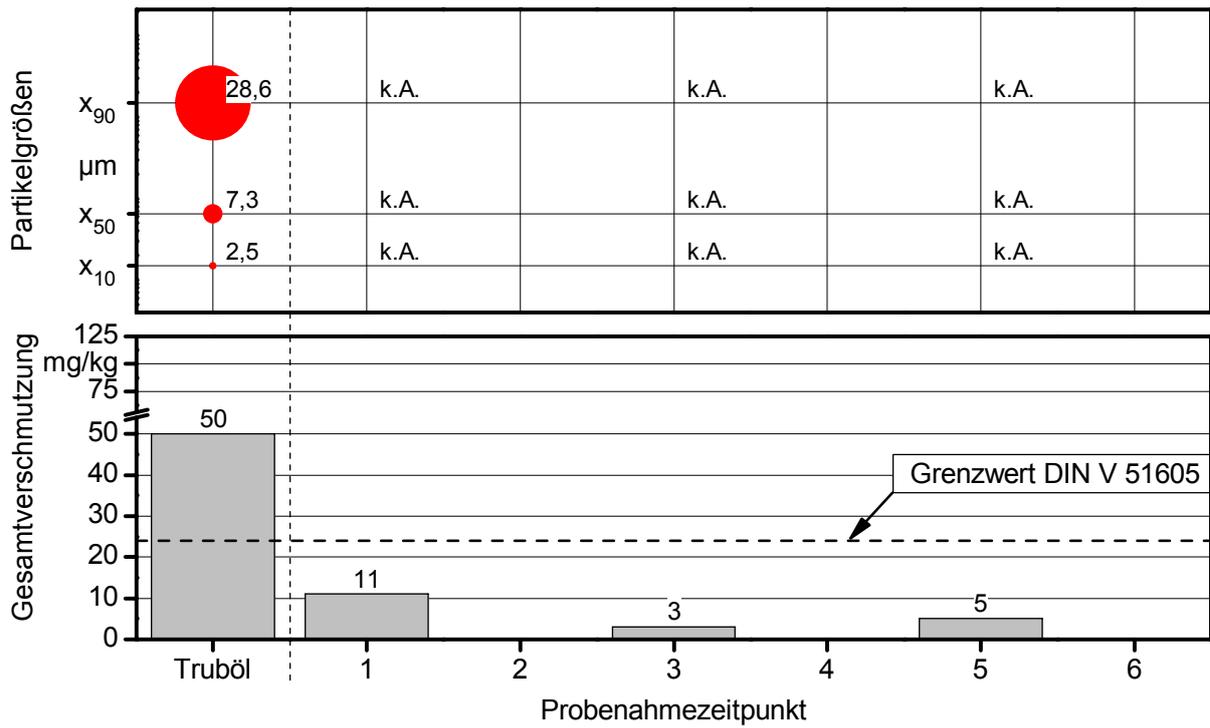


Abbildung 118: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

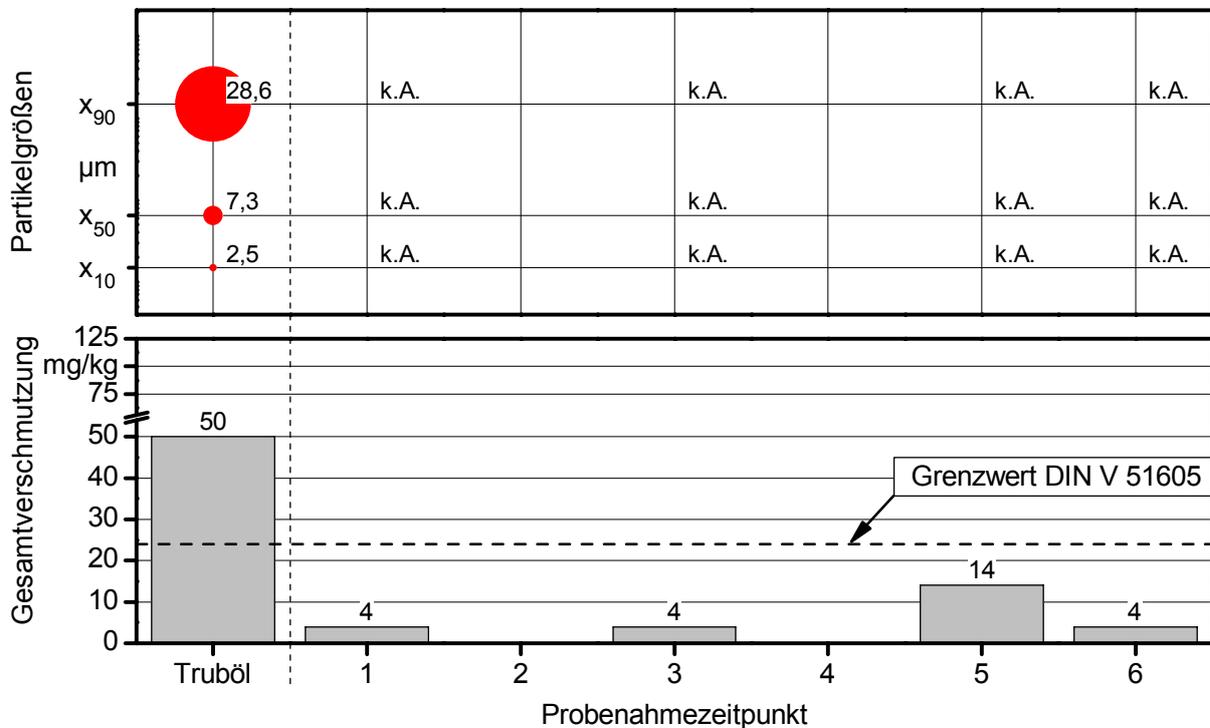


Abbildung 119: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

Typ ES 001-0-U-X0

Wie Tabelle 19, Abbildung 120 und Abbildung 121 zeigen, nimmt der Massenstrom während der Filtration mit dem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 kontinuierlich ab. Der durchschnittliche Massenstrom von 0,8 kg Rapsöl pro Minute bei der Wiederholung 1 hat sich bei der Wiederholung 2 halbiert. Dies deutet auf ein geringes Schmutzaufnahmevermögen der Filterkerze hin. Die Gesamtverschmutzung und der Anteil großer Partikel in Rapsöl konnte deutlich reduziert werden. Abbildung 122 und Abbildung 123 zeigen die Ergebnisse im Detail. Für die Endfiltration von Ölen mit geringer Gesamtverschmutzung nach der Hauptreinigung ist der Kerzenfilter geeignet. Es ist jedoch darauf zu achten, dass eine ausreichend große Filterfläche, entsprechend dem zu filternden Rapsölstrom, vorgehalten werden muss.

Tabelle 19: Versuchparameter Kerzenfilter ES 001-0-U-X0

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	112	107
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	0,8	0,4
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	2,0	2,1

Hersteller Filtertechnik Jäger**Typ NT-1 µm-9^{3/4}''**

Mit dem Kerzenfilter NT-1 µm-9^{3/4}'' des Herstellers Filtertechnik Jäger konnte zwar die Gesamtverschmutzung und der Anteil großer Partikel im Trüböl reduziert werden, die im Reinöl gemessenen Konzentrationen für die Gesamtverschmutzung lagen jedoch alle über dem in der Vornorm DIN V 51605 für Rapsölkraftstoff geforderten Grenzwert von 24 mg/kg. Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 126 und Abbildung 127 dargestellt. Außerdem war eine Filtererschöpfung am Ende der zweiten Versuchswiederholung feststellbar. Die Versuchparameter und den Filtrationsverlauf zeigen Tabelle 20, Abbildung 124 und Abbildung 125. Der Kerzenfilter NT-1 µm-9^{3/4}'' ist als Endfilter nicht geeignet.

Tabelle 20: Versuchparameter Kerzenfilter NT-1 µm-9^{3/4}''

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	186	114
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	2,3	0,6
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	1,6	1,8

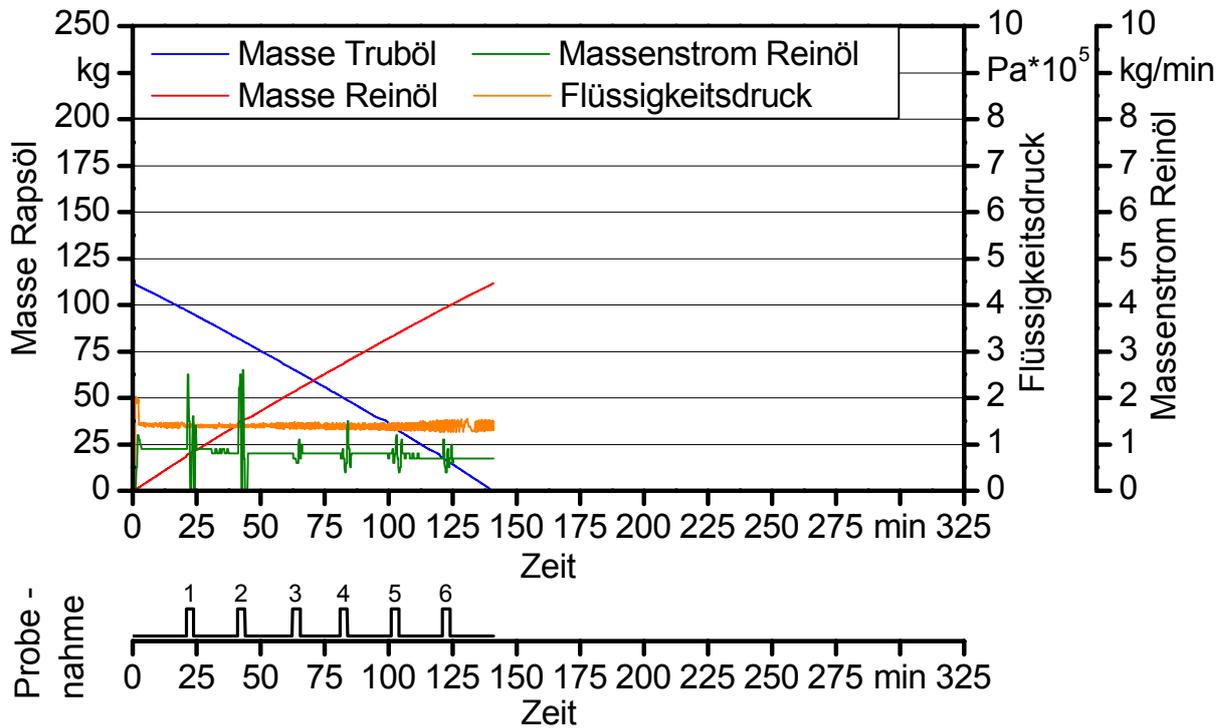


Abbildung 120: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amalfilter - Wiederholung 1

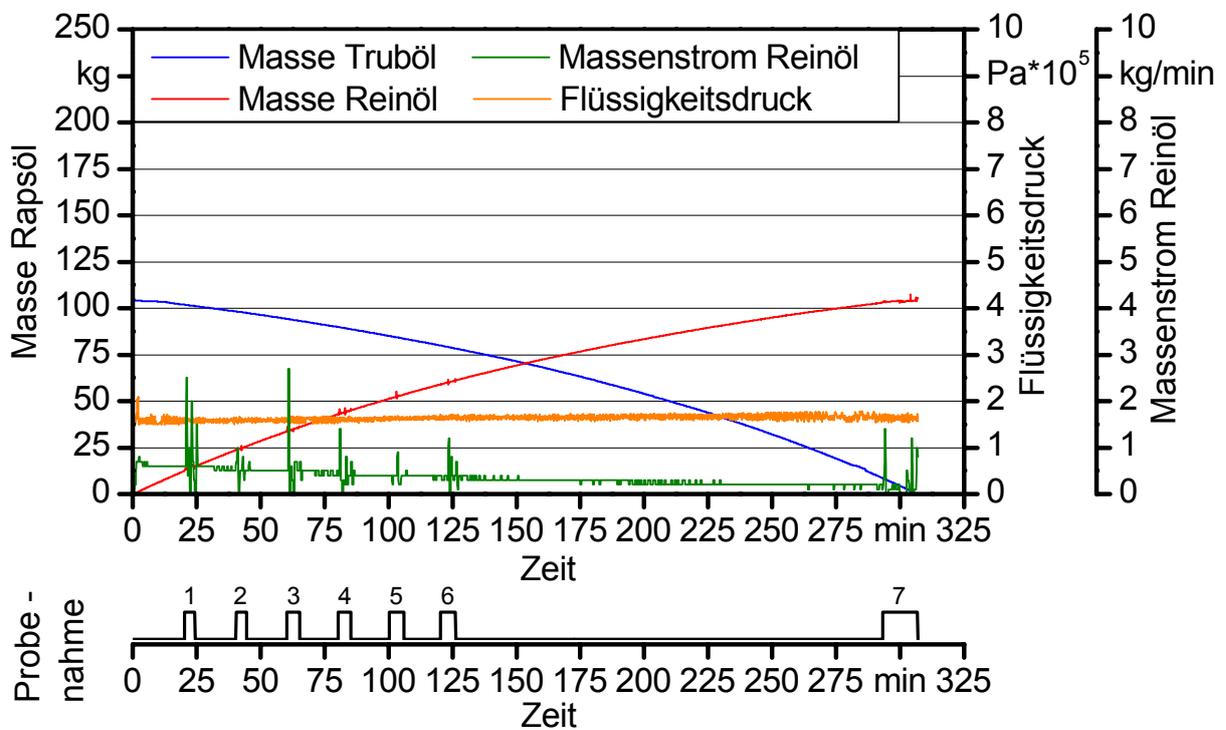


Abbildung 121: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amalfilter - Wiederholung 2

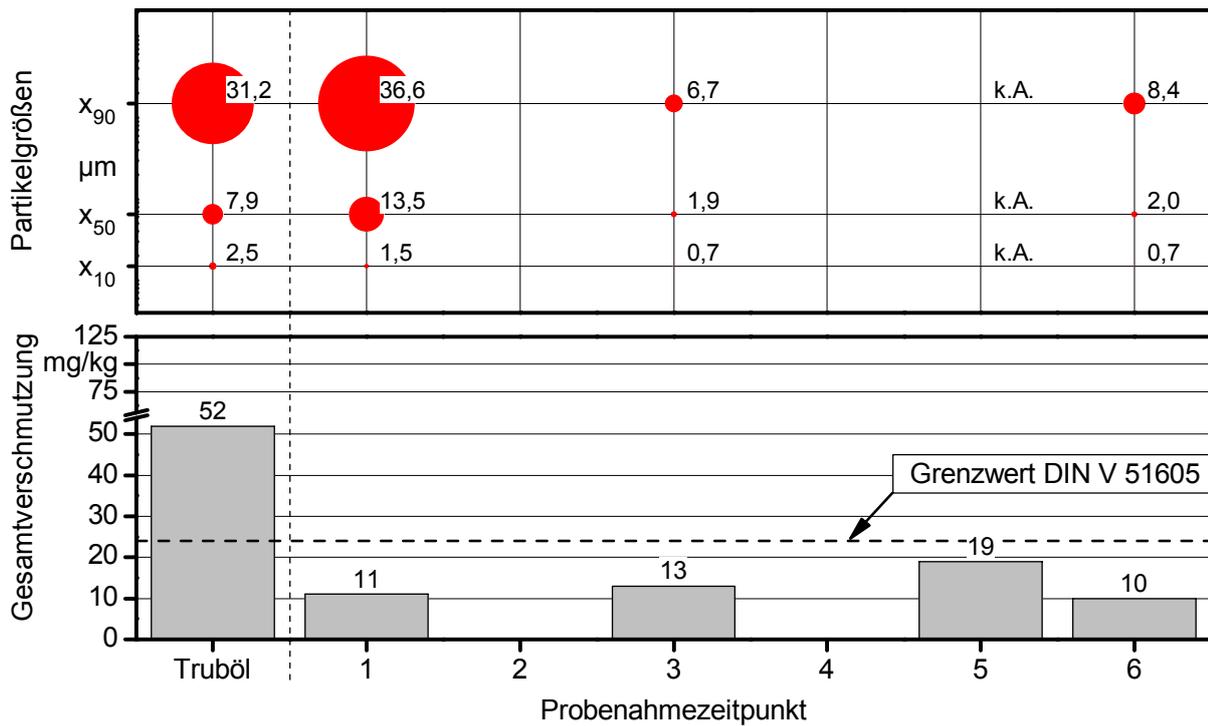


Abbildung 122: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 1

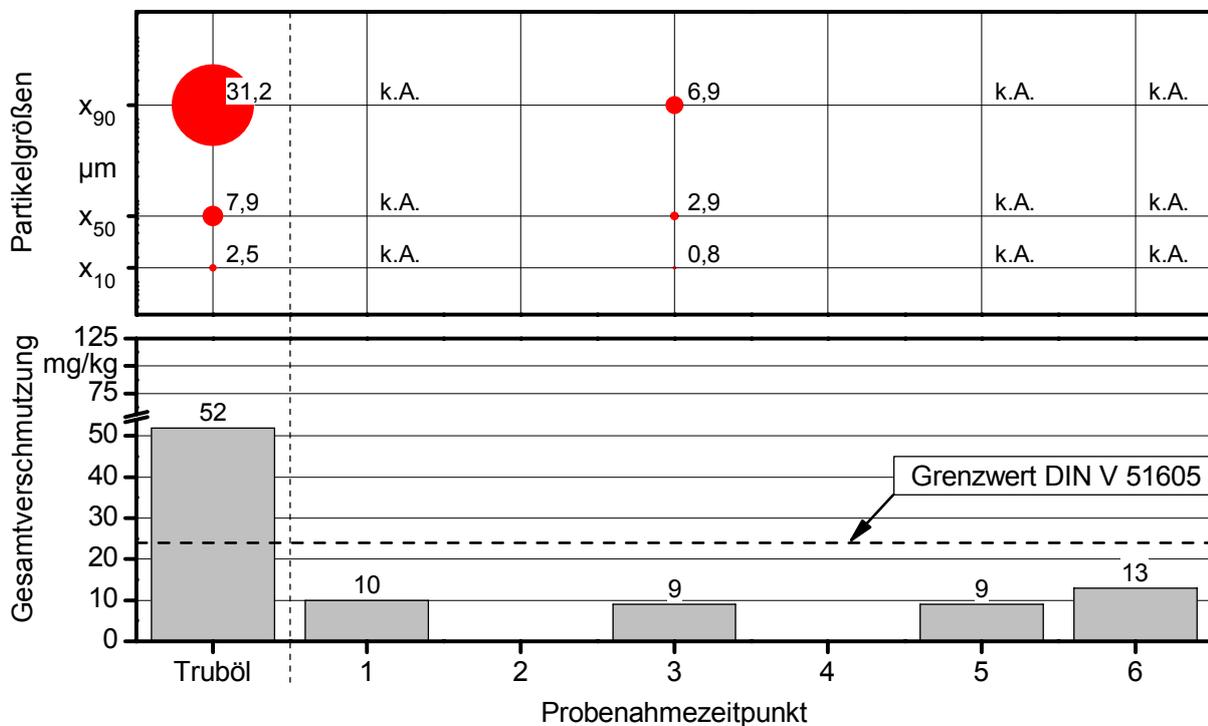


Abbildung 123: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter - Wiederholung 2

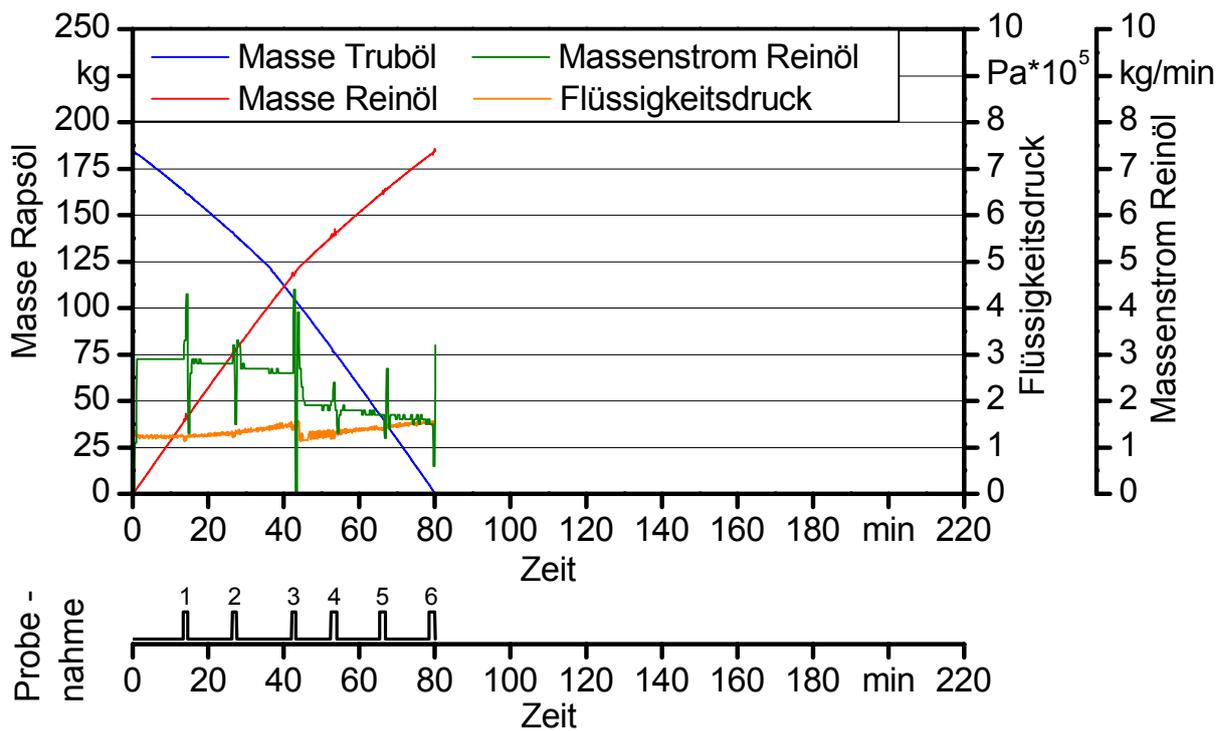


Abbildung 124: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter NT-1 μm -9 $\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1

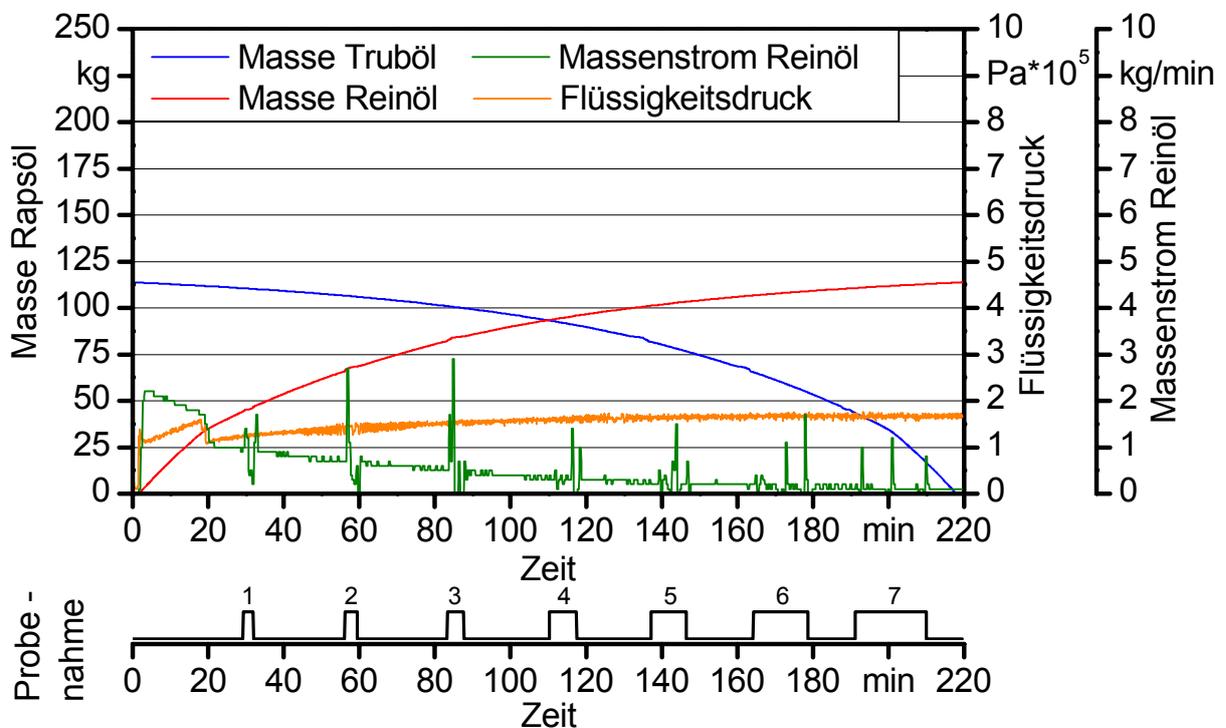


Abbildung 125: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter NT-1 μm -9 $\frac{3}{4}$ '' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2

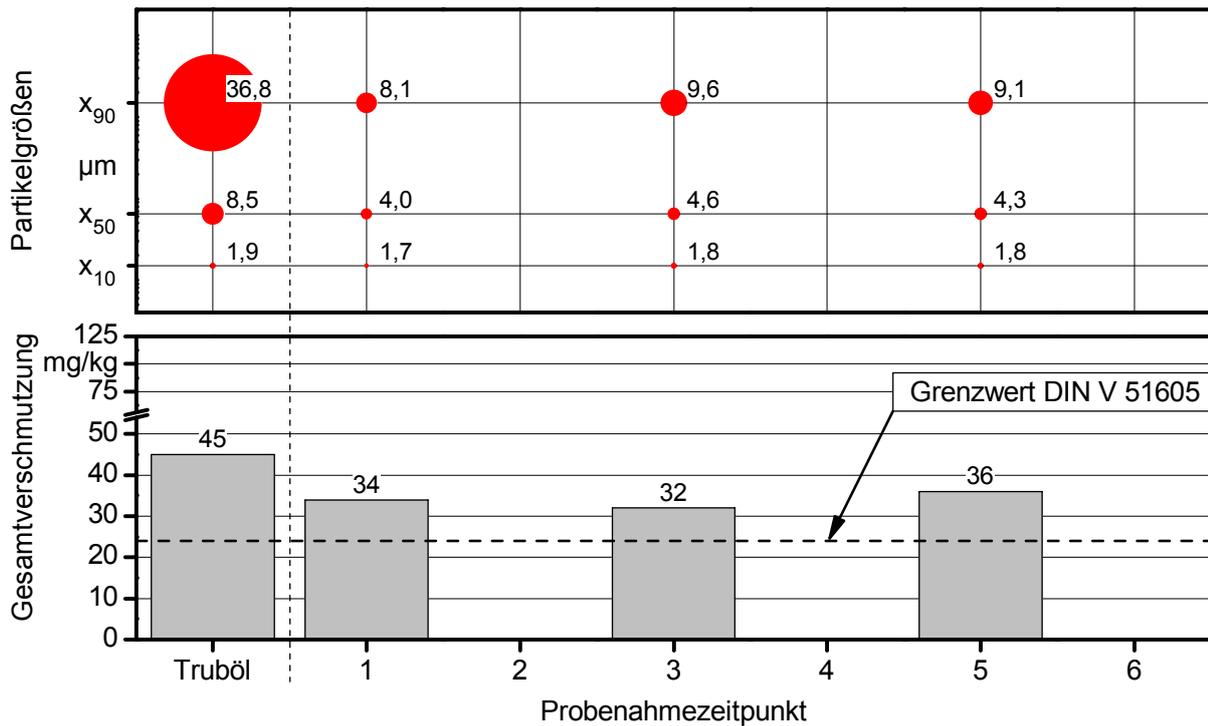


Abbildung 126: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter NT-1 µm-9¼'' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 1

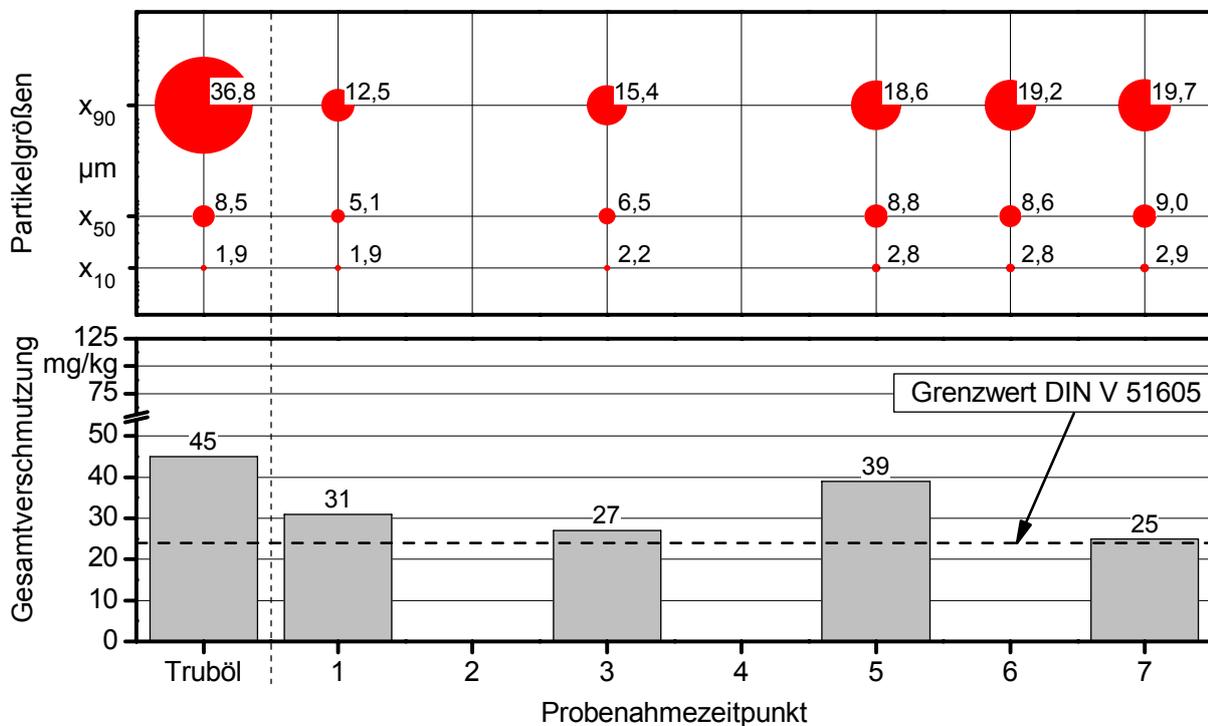


Abbildung 127: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter NT-1 µm-9¼'' des Herstellers Filtertechnik Jäger - Wiederholung 2

5.4.3 Tiefenfilter

Hersteller Pall SeitzSchenk Typ SUPRAdisc SD K300

In Tabelle 21, Abbildung 128 und Abbildung 129 sind die Versuchsbedingungen bei der Durchführung der Filtrationsversuche mit dem Tiefenfilter Typ SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk dokumentiert. Mit nahezu konstantem Massenstrom konnten die beiden Rapsölchargen gefiltert werden. Wie Abbildung 130 und Abbildung 131 zeigen, war die Gesamtverschmutzung im Reinöl im Bereich der unteren Nachweisgrenze der Prüfmethode; der Grenzwert für die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff wurde deutlich unterschritten. Die optische Konzentration an Partikeln im Reinöl war zu gering, um die Partikelgrößenverteilung im Reinöl zu messen. Das Tiefenfiltermodul SUPRAdisc SD K300 hat sich in den beiden Versuchen für die Endfiltration von Rapsölkraftstoff als geeignet erwiesen.

Tabelle 21: Versuchsparemeter Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Truböl gesamt in kg	186	177
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,7	3,5
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	2,6	1,5

Typ SUPRAdisc SD K700

Mit dem Tiefenfiltermodul SUPRAdisc SD K700 wurden Werte für die Gesamtverschmutzung im Reinöl gemessen, die deutlich unter dem Grenzwert für Rapsölkraftstoff liegen. Tendenziell waren die Werte geringfügig schlechter als bei der Filtration mit dem Filtermodul SUPRAdisc SD K300. Eine Messung der Partikelgrößenverteilung war aufgrund der geringen optischen Partikelkonzentration nicht möglich. Die genauen Messwerte sind in Abbildung 134 und Abbildung 135 wiedergegeben. Der Massenstrom Reinöl war während der beiden Versuchsreihen nahezu konstant. In Tabelle 22, Abbildung 132 und Abbildung 133 sind die Versuchsbedingungen dokumentiert. Das Tiefenfiltermodul SUPRAdisc SD K700 ist für die Verwendung als Endfilter geeignet.

Tabelle 22: Versuchsparemeter Tiefenfilter SUPRAdisc SD K700

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Truböl gesamt in kg	185	178
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,7	3,6
Druck am Filter (Maximum) in Pa•10 ⁵	1,6	2,0

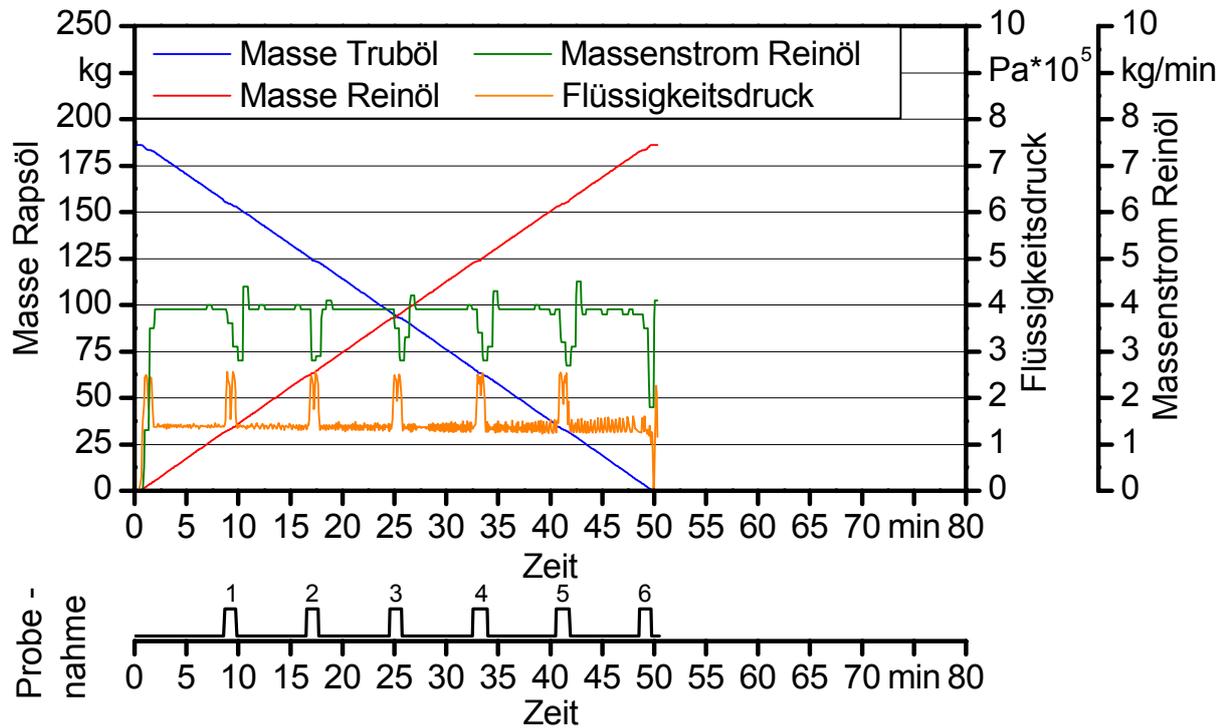


Abbildung 128: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

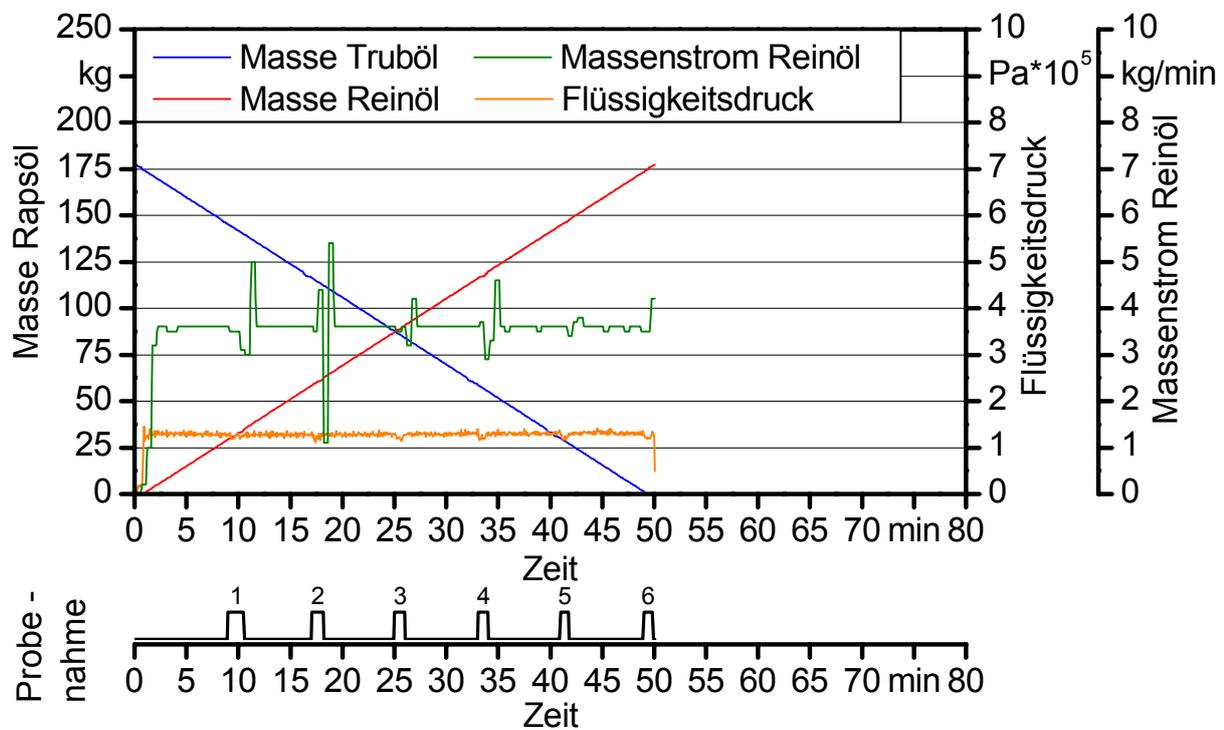


Abbildung 129: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

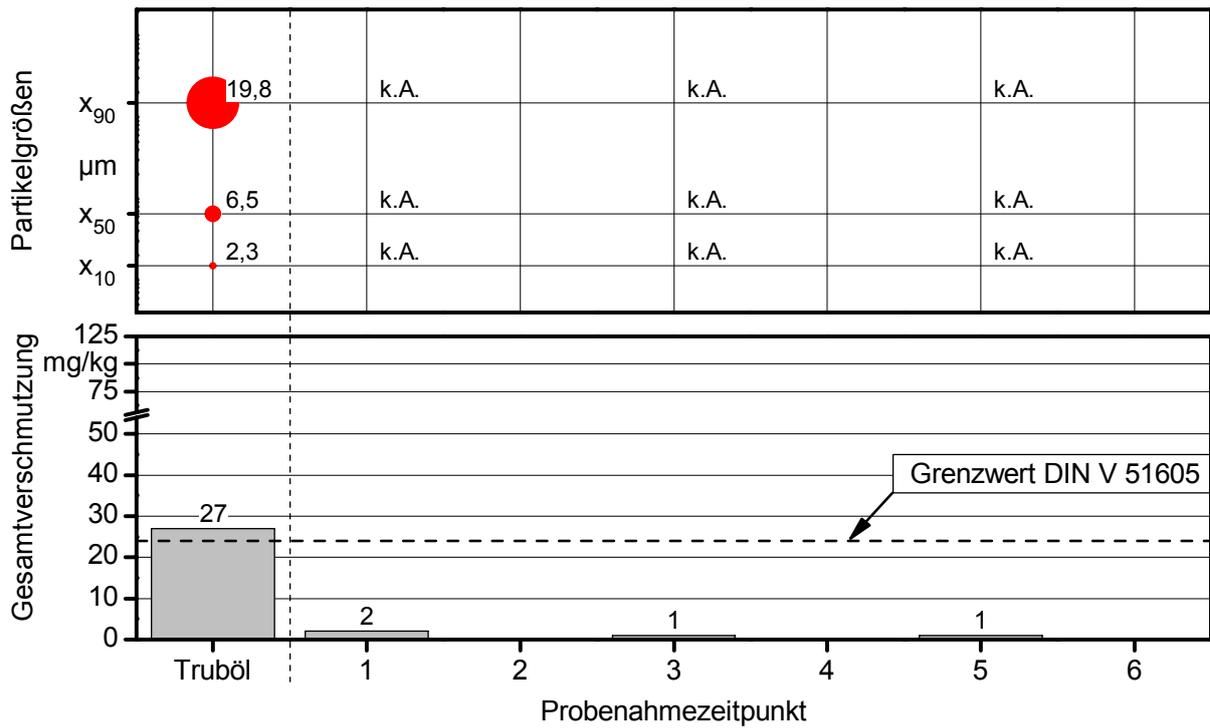


Abbildung 130: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

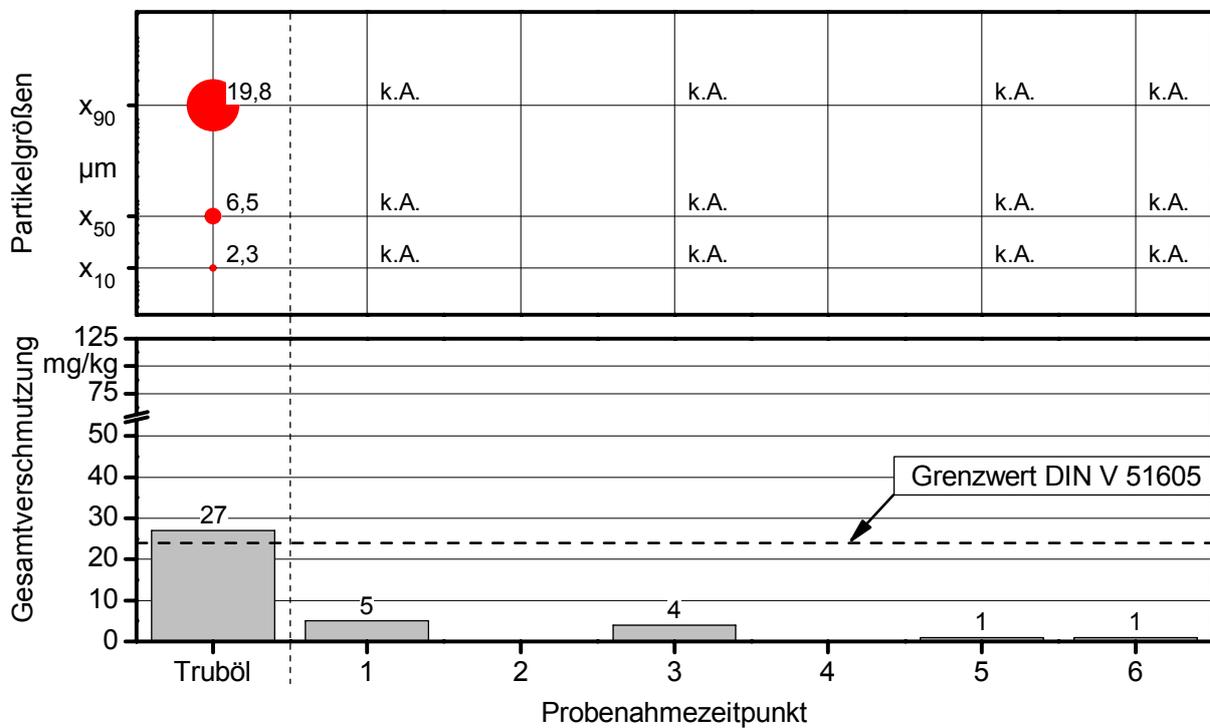


Abbildung 131: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

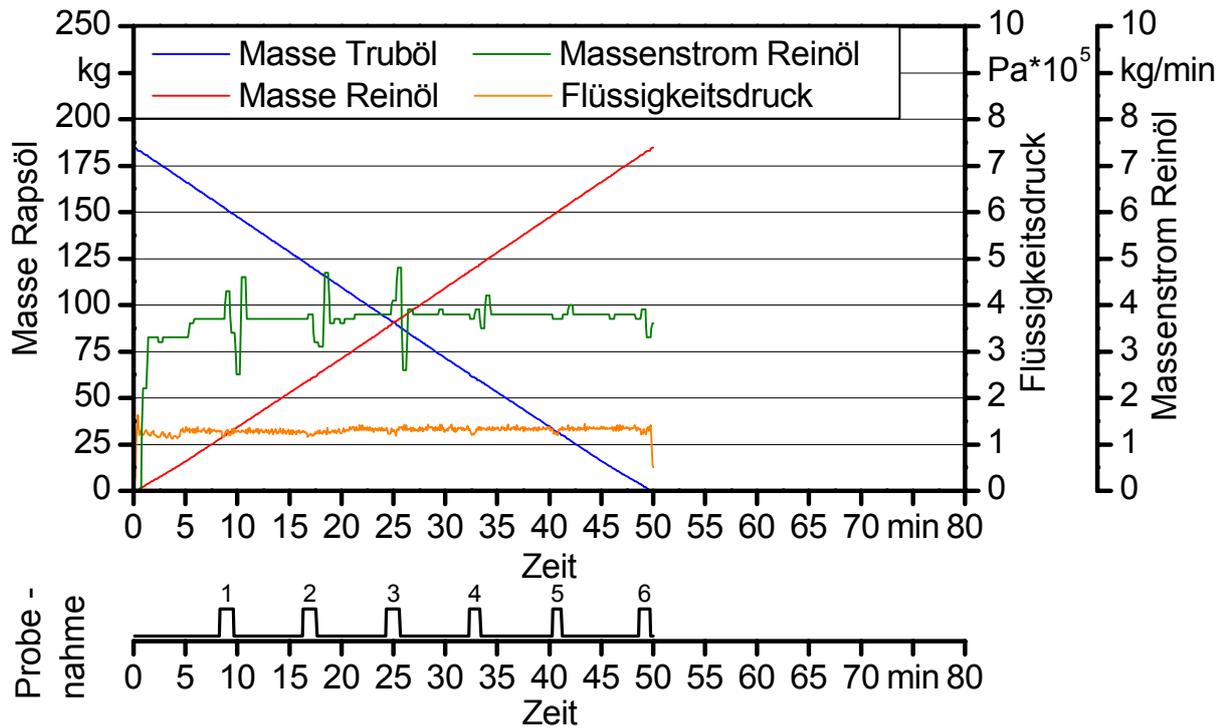


Abbildung 132: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

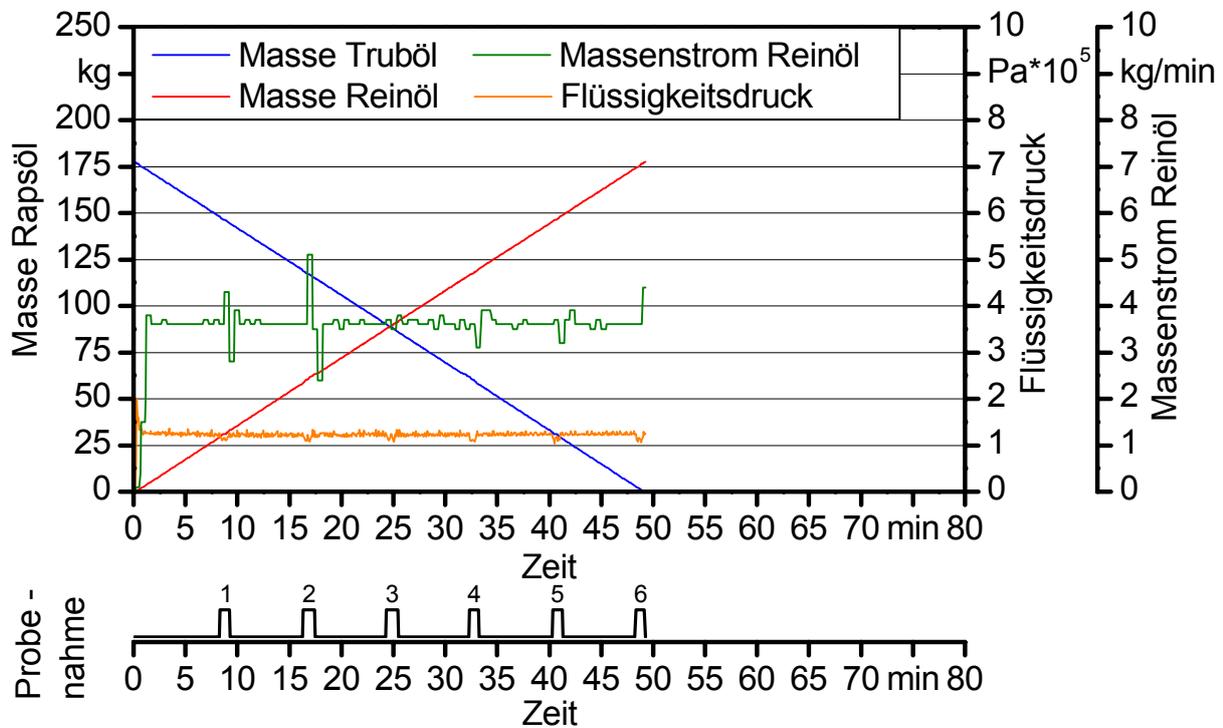


Abbildung 133: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

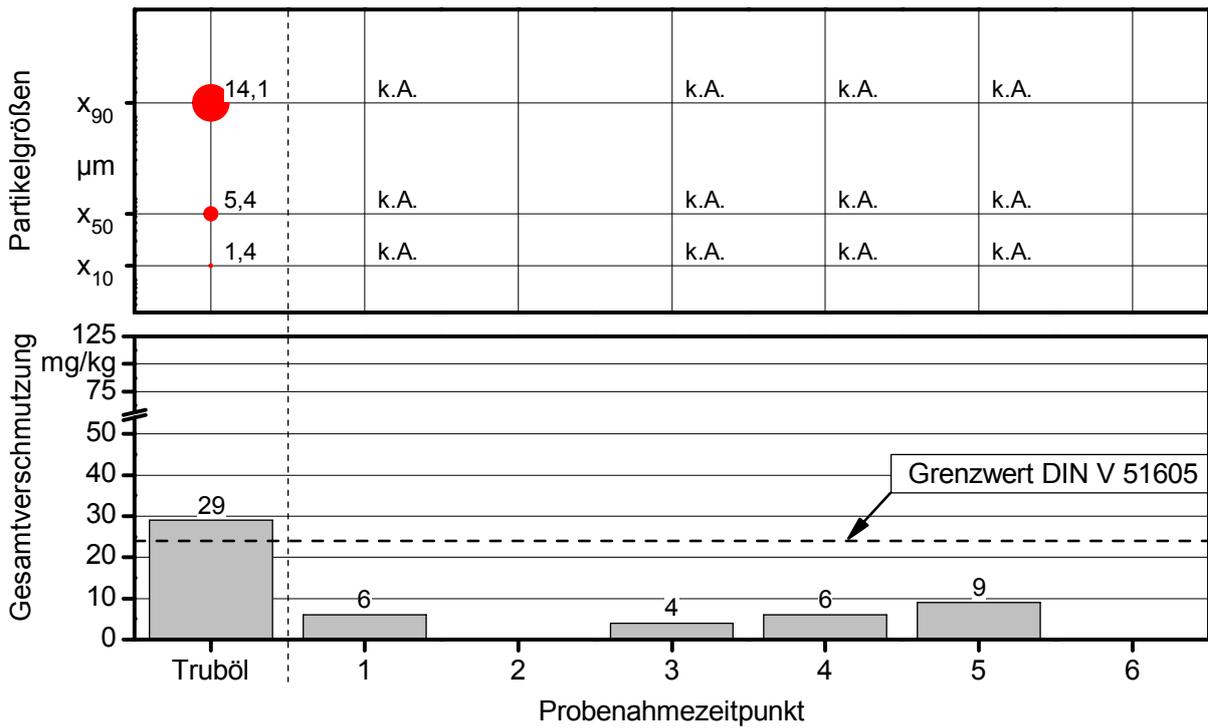


Abbildung 134: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

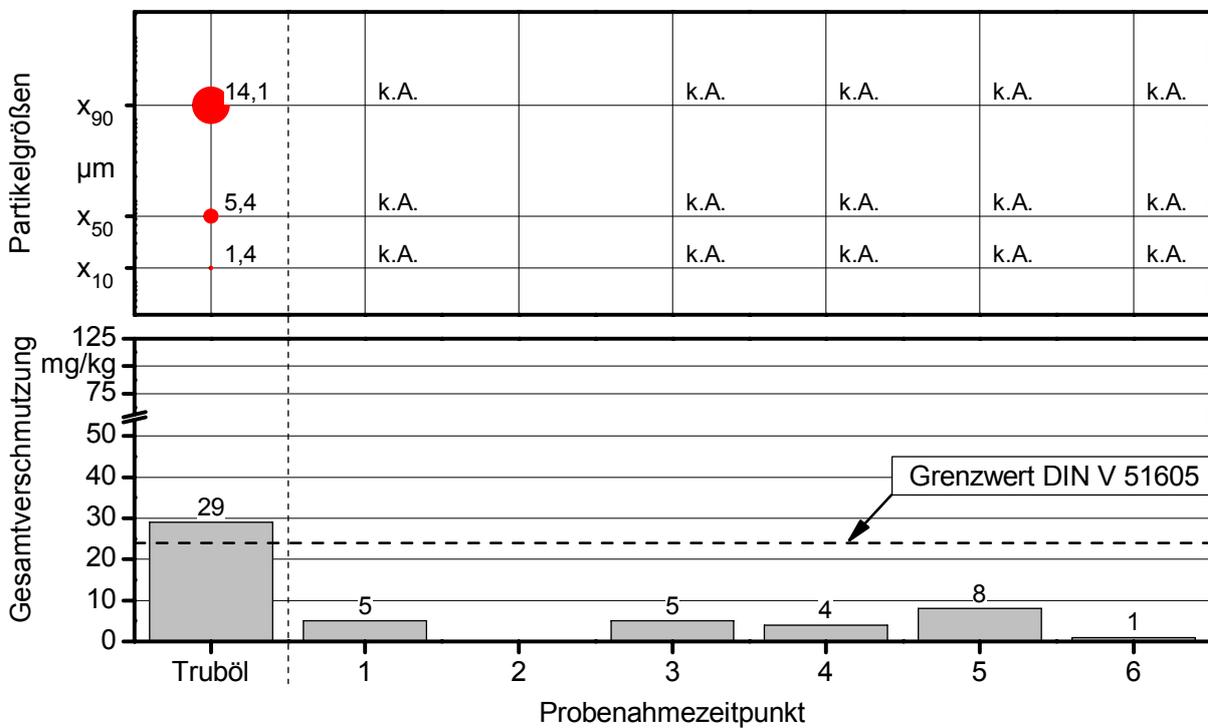


Abbildung 135: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRADisc SD K700 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

Typ SUPRAdisc SDT II T500

Die Versuchsparameter und der Filtrationsverlauf der Untersuchungen mit dem Tiefenfiltermodul SUPRAdisc SDT II T500 sind in Tabelle 23, Abbildung 136 und Abbildung 137 dargestellt. Der Massenstrom bei der Wiederholung 2 ist im Mittel um 0,5 kg pro Minute geringer als bei der Wiederholung 1. Es ist jedoch zu beachten, dass auch der mittlere Flüssigkeitsdruck bei der Wiederholung 2 um etwa $0,1 \text{ Pa} \cdot 10^5$ geringer war als bei der Wiederholung 1. Das Tiefenfiltermodul SUPRAdisc SDT II T500 ist für eine Endfiltration geeignet, da die analysierten Werte für die Gesamtverschmutzung im Reinöl deutlich unter dem Grenzwert liegen. Aufgrund der geringen optischen Konzentration, war eine Bestimmung der Partikelgrößenverteilung im Reinöl nicht möglich. Abbildung 138 und Abbildung 139 zeigen die Ergebnisse im Detail.

Tabelle 23: Versuchsparameter Tiefenfilter SUPRAdisc SDT II T500

	Wiederholung 1	Wiederholung 2
Masse Trüböl gesamt in kg	179	172
Massenstrom Reinöl (Mittelwert) in kg/min	3,2	2,7
Druck am Filter (Maximum) in $\text{Pa} \cdot 10^5$	1,8	2,5

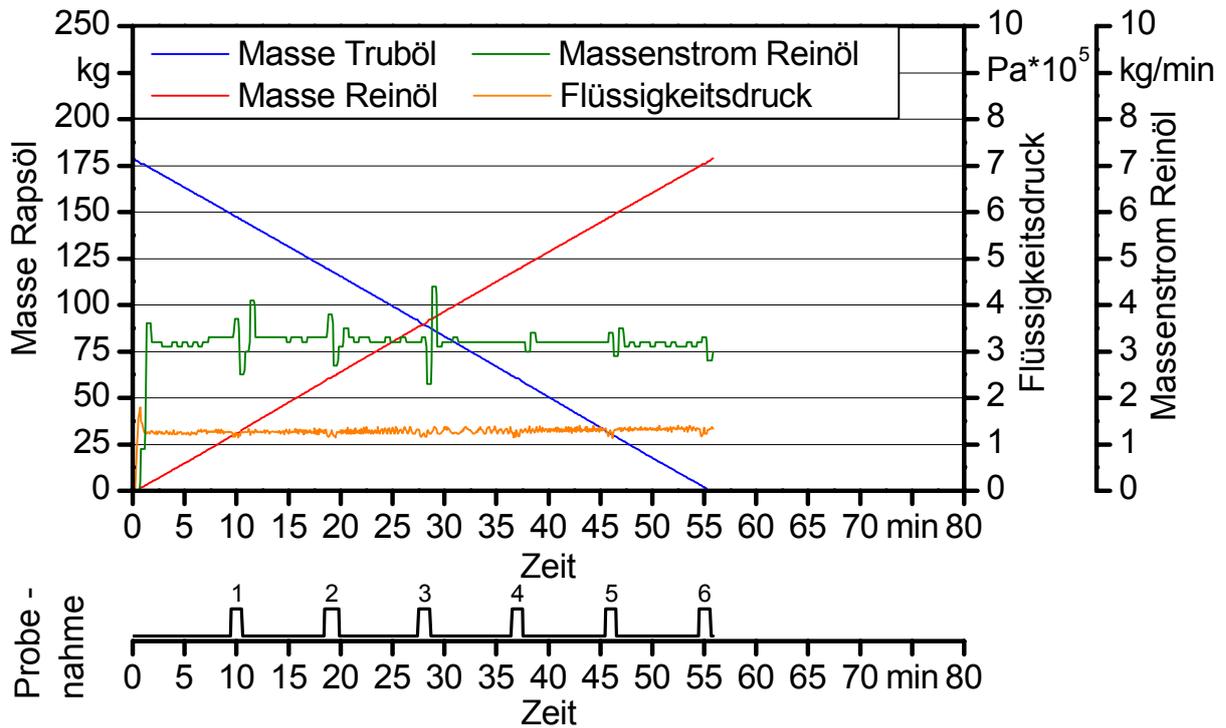


Abbildung 136: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

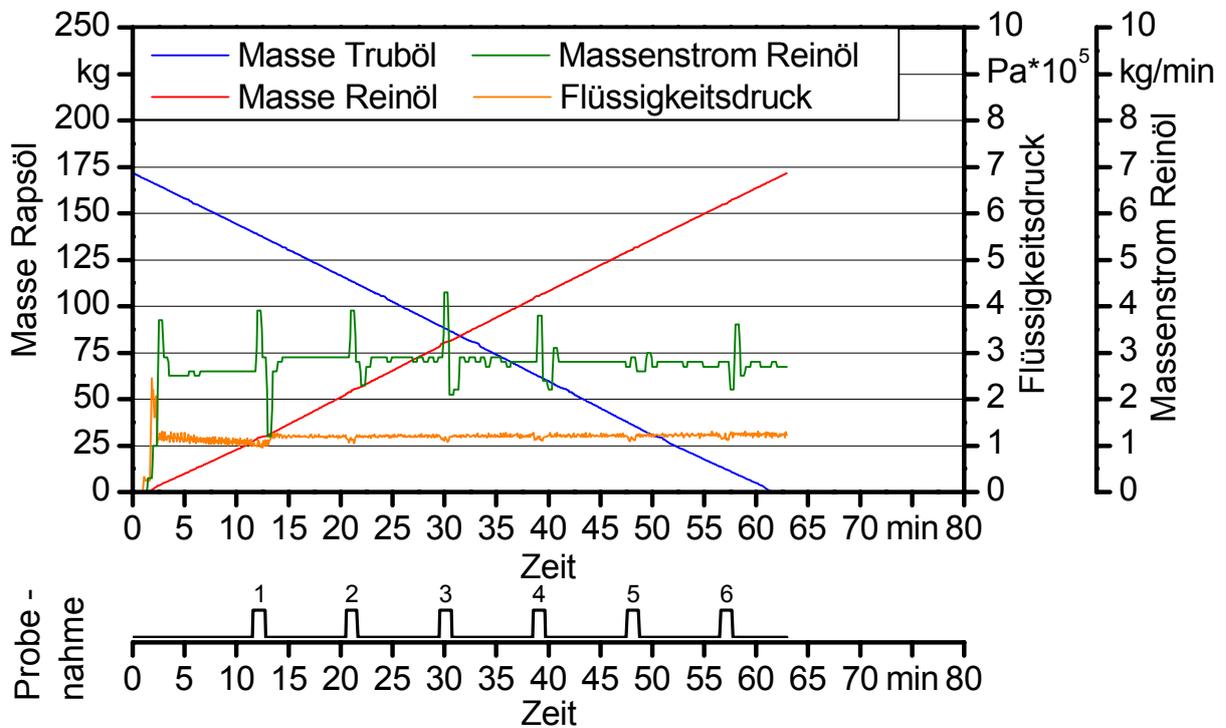


Abbildung 137: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter SUPRAdisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

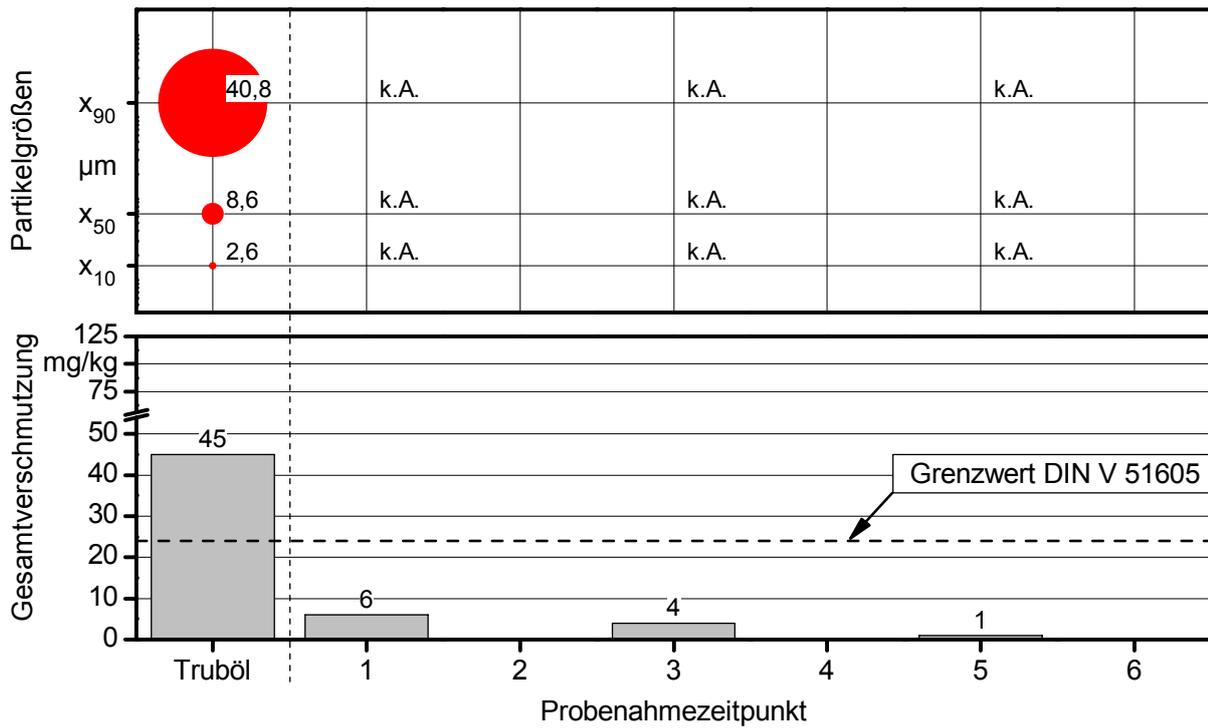


Abbildung 138: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRAdisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 1

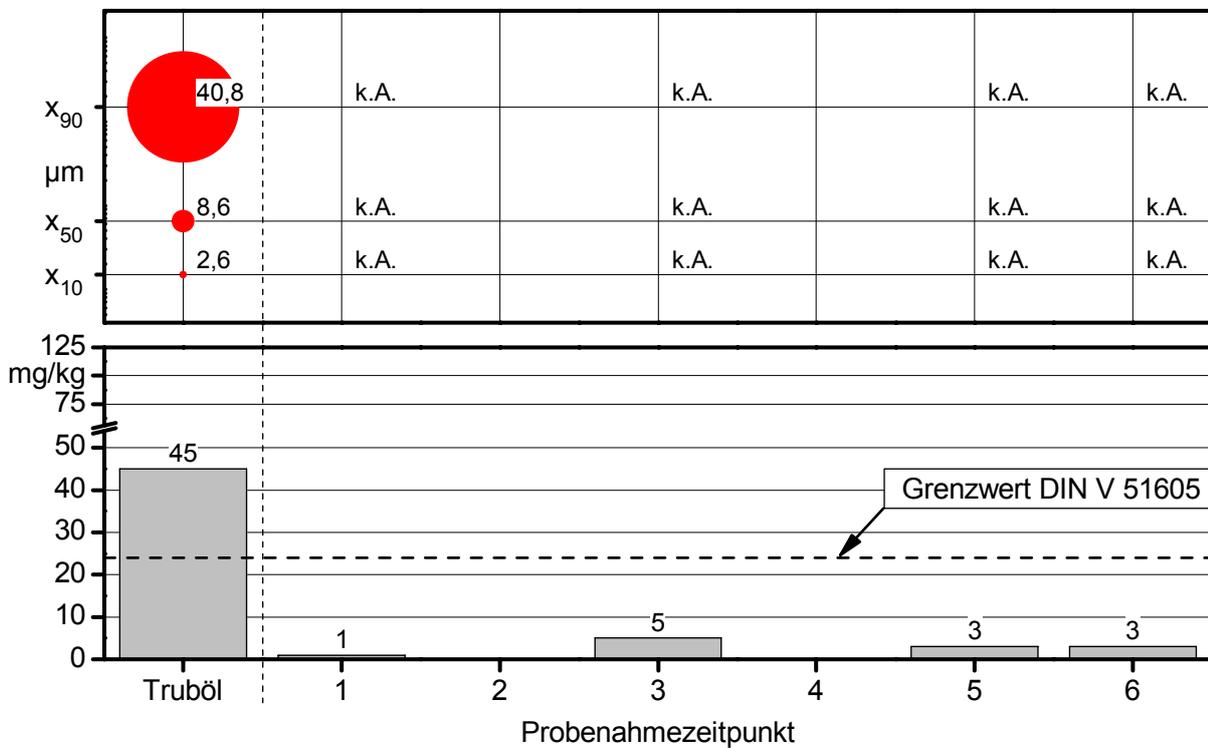


Abbildung 139: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem SUPRAdisc SDT II T500 des Herstellers Pall SeitzSchenk - Wiederholung 2

5.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Filteruntersuchungen

In den Untersuchungen zur Eignung von verschiedenen Filtern als Endfilter zum Einsatz in dezentralen Ölmühlen zur Herstellung von Rapsölkraftstoff wurden mit dem Tiefenfiltermodul SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk die besten Ergebnisse erzielt. Auch die Tiefenfiltermodule SUPRADisc SD K700 und SUPRADisc SDT II T500 haben ihre Eignung unter Beweis gestellt. Gute Ergebnisse wurden auch mit dem Beutelfilter Typ 2-AXL-1 μm des Herstellers Filtertechnik Jäger erzielt. Innerhalb der untersuchten Kerzenfilter wurde mit dem Typ GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter die geringste Gesamtverschmutzung im Rapsöl erzielt. Auch die Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N und ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter zeigten ein sehr gutes Rückhaltevermögen. Das Schmutzaufnahmevermögen aller drei Kerzenfilter ist jedoch als eher gering einzustufen, so dass diese Kerzenfilter aus ökonomischen Überlegungen nur in Ölmühlen mit gut funktionierender Hauptreinigung eingesetzt werden sollten.

Die Beutelfilter HPM 95-01-1-1 SS und AP 1/1/1S-1S des Herstellers Amafilter, der Beutelfilter 2-PES-1 $\mu\text{m}/\text{P}$ und der Kerzenfilter NT-1 $\mu\text{m}-9\frac{3}{4}''$ des Herstellers Filtertechnik Jäger haben sich in den Untersuchungen für die Verwendung als Endfilter als nicht geeignet erwiesen.

Die in Kapitel 5.4 getroffenen Aussagen beziehen sich auf die im Technikumsmaßstab durchgeführten Untersuchungen unter den dokumentierten Versuchsbedingungen. Da das Filtrationsergebnis und vor allem die Standzeiten der Filter sehr stark abhängig sind von der Gesamtverschmutzung und der Partikelgrößenverteilung im zu filternden Trüböl sowie von der Betriebsweise der Filter, können die Ergebnisse in Praxisanlagen von den im Versuch erzielten Ergebnissen abweichen.

5.5 Schnelltest Gesamtverschmutzung

Autoren: Dr. Ulrike Schümann und Beate Bahl

Folgende Ergebnisse wurden von der Universität Rostock in großen Teilen bereits vorab im Bericht „Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöлтаuglichen Traktoren“ (FNR-FKZ 00NR200“[22] veröffentlicht. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Kapitels liegt bei den Autoren der Universität Rostock.

Im Vorhaben wurden zwei neue Methoden zur Schnellbestimmung der Gesamtverschmutzung geprüft sowie Versuche unternommen, die Schnelltestmethode des Technologie- und Förderzentrums [39] fortzuentwickeln.

5.5.1 Methode auf Basis des Durchdringungswiderstandes

Das erste Verfahren basiert auf der Grundlage der etablierten Labormethode „Filtration“ zur Bestimmung der Gesamtverschmutzung. Dabei wurde mit dem Ziel, die Filterbelegung auf der Basis des Durchdringungswiderstandes ermitteln zu können, der in Abbildung 140 dargestellte Versuchsaufbau geschaffen. Grundlage des Messprinzips ist die Tatsache, dass mit zunehmender Belegung des Filters Poren verschlossen werden und somit die Durchlässigkeit des Filters abnimmt. Im Versuchsaufbau nach Abbildung 140 wird der auf die Zeit bezogene Volumenstrom gemessen, der den Filter bei konstantem Druck passiert. Zur Durchführung der Messung wird ein definiertes Probenvolumen durch den Filter gedrückt. Der Druck ist dabei konstant. Das Volumen wird anhand des Kolbenweges bestimmt, der zeitbezogen über einen Linearwertgeber aufgezeichnet wird. Verringert sich also durch zunehmende Filterbelegung das Volumen, das je Zeiteinheit den Filter passiert, so wird auch die Geschwindigkeit des Kolbens geringer. Es tritt also eine Verzögerung auf. Die Stärke der Verzögerung als zweite Ableitung des Weges ist ein Maß für die Zunahme der Filterbelegung und somit für den Verschmutzungsgrad der Probe.

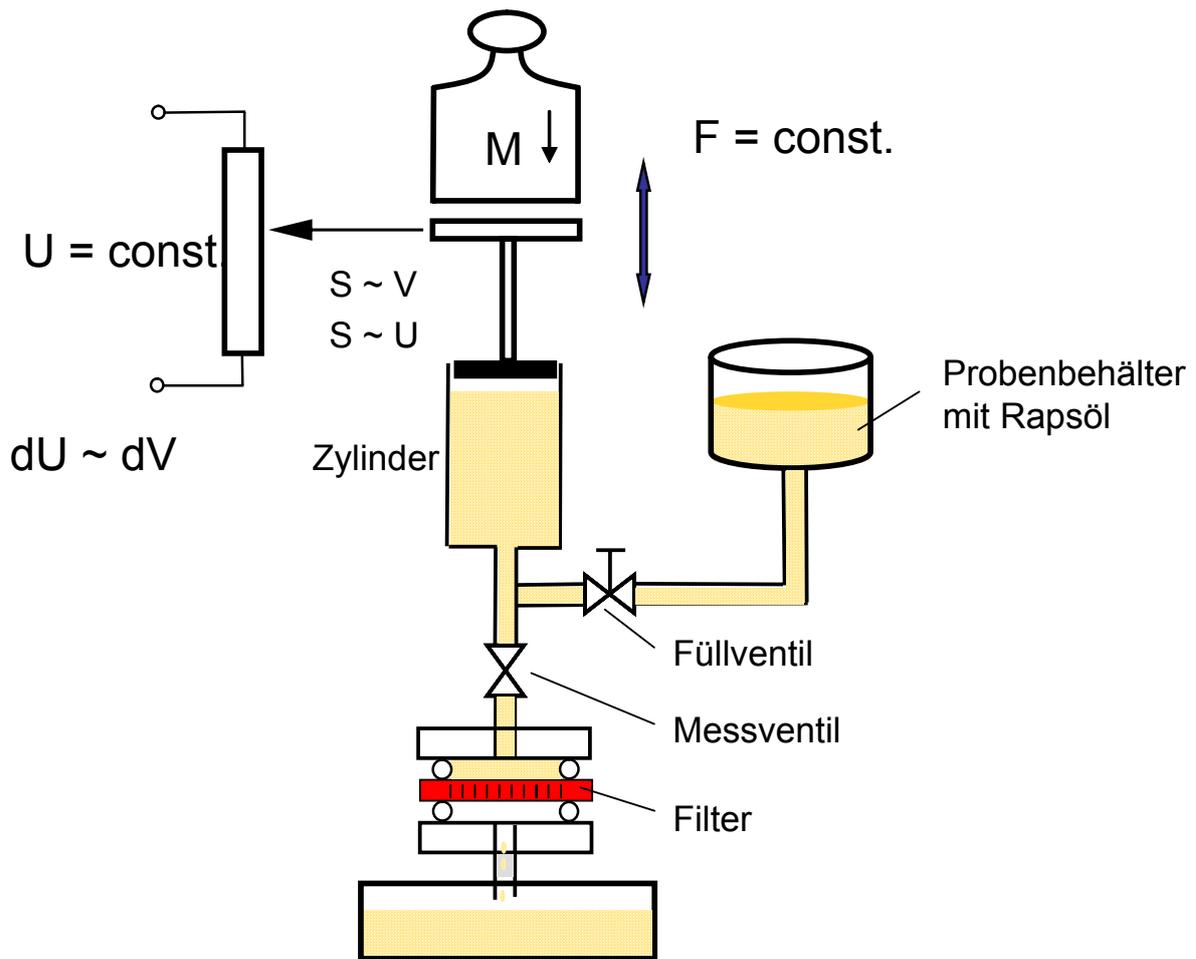


Abbildung 140: Messung der Filterbelegung für ein festgelegtes Probenvolumen durch Erfassung des zeitbezogenen Volumenstroms

In Abbildung 141 sind die Erfassung der Fließgeschwindigkeiten und die Ermittlung der Verzögerung dargestellt. Dabei werden die Fließgeschwindigkeiten zu Beginn der Messung, also mit nahezu unverschmutzten Filtern und zu Ende der Messung, also mit belegten Filtern, verglichen. Aus dem Quotient von End- und Anfangsanstieg, der die Fließgeschwindigkeit darstellt, kann somit eine Information über die Stärke der Filterbelegung gewonnen werden. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es nahezu unabhängig von der Viskosität beziehungsweise der Temperatur des Prüfmediums ist, sofern diese Parameter während des Versuchs konstant sind.

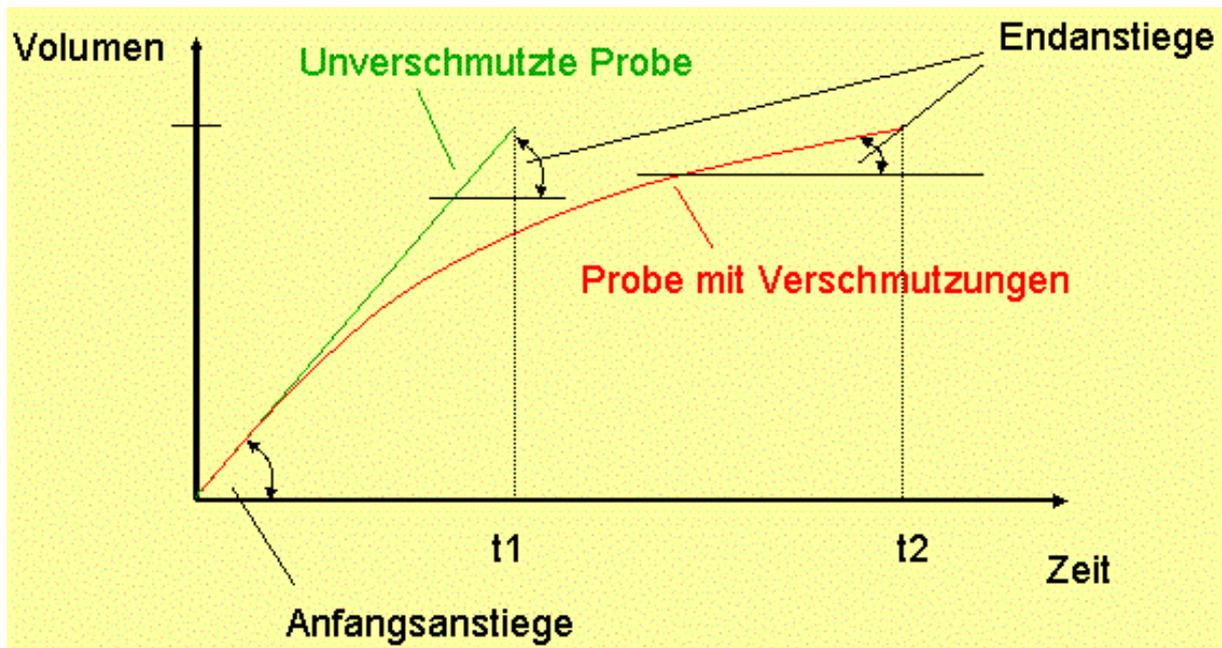


Abbildung 141: Erfassung der Filterbelegung durch Messung des zeitbezogenen Volumenstroms

Abbildung 142 zeigt die analytische Beschreibung der Zeit-Volumen-Kurven die sich aus den Messungen ergeben. Mit sehr guter Korrelation konnte die Funktion mit quadratischem und kubischem Verlauf angepasst werden. Dabei sind aus den Koeffizienten direkt Eigenschaften der Probe ablesbar. Der lineare Koeffizient c in Abbildung 142 ist ein Maß für die Viskosität der Probe. Die Koeffizienten b und a stellen ein Maß für die Krümmung der Kurve, und damit für die Beschleunigung (2. Ableitung des Weges), also für die Verschmutzung dar.

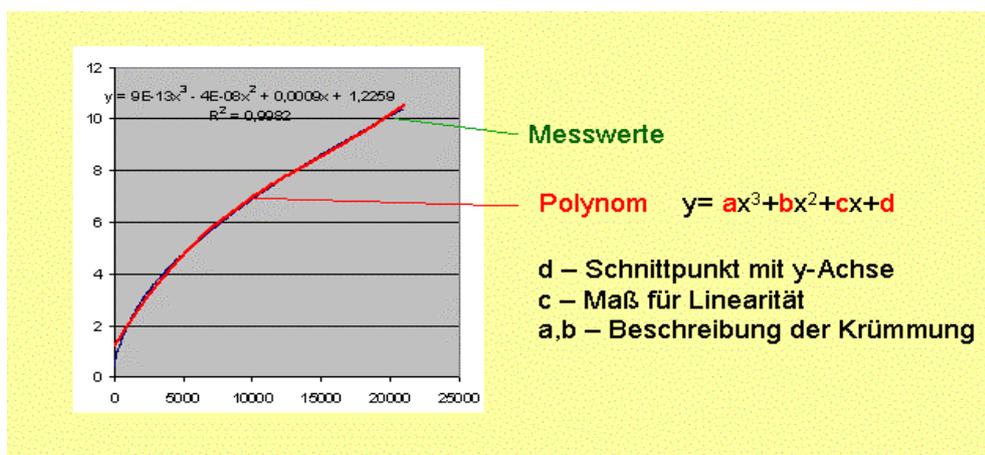


Abbildung 142: Beschreibung des Zeit-Volumenstroms durch Polynom und Vergleich der Koeffizienten

Der Laboraufbau für die Versuchsmessungen ist in Abbildung 143 dargestellt.

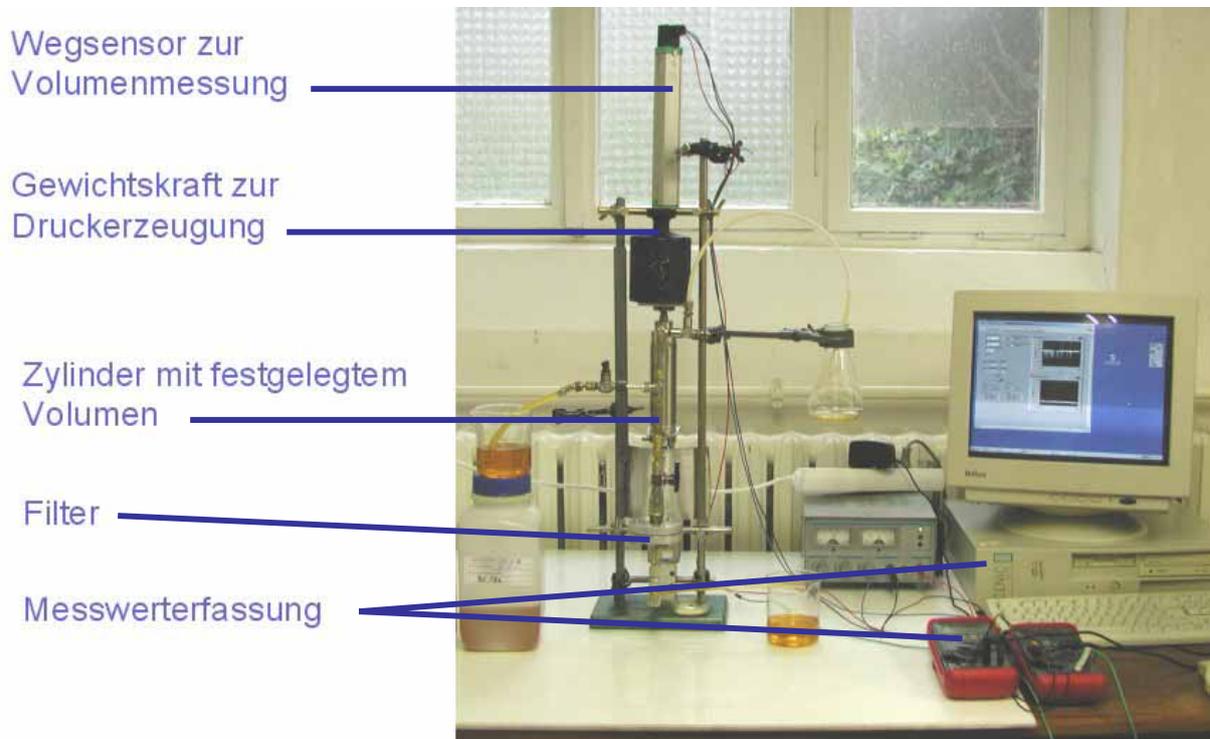


Abbildung 143: Prüfstandsaufbau für die Versuchsmessungen

Die Messungen wurden mit den in der Methode DIN EN 12662 vorgegebenen Filtern mit einer Porengröße von $0,8 \mu\text{m}$ durchgeführt. Die Messwerte der Durchlaufzeit und der ermittelten Anstiegsverhältnisse wurden in Abhängigkeit von den durch die Labormethode analysierten Gesamtverschmutzungen aufgetragen und in Abbildung 144 und Abbildung 145 dargestellt.

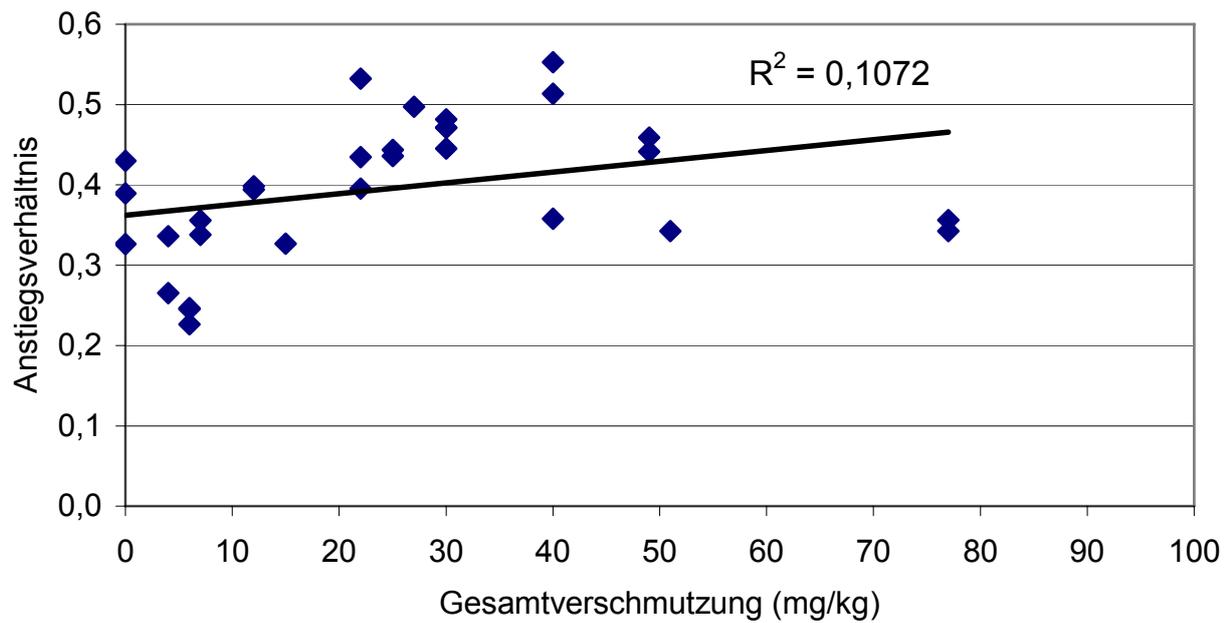


Abbildung 144: Anstiegsverhältnis der untersuchten Proben in Abhängigkeit von der Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662)

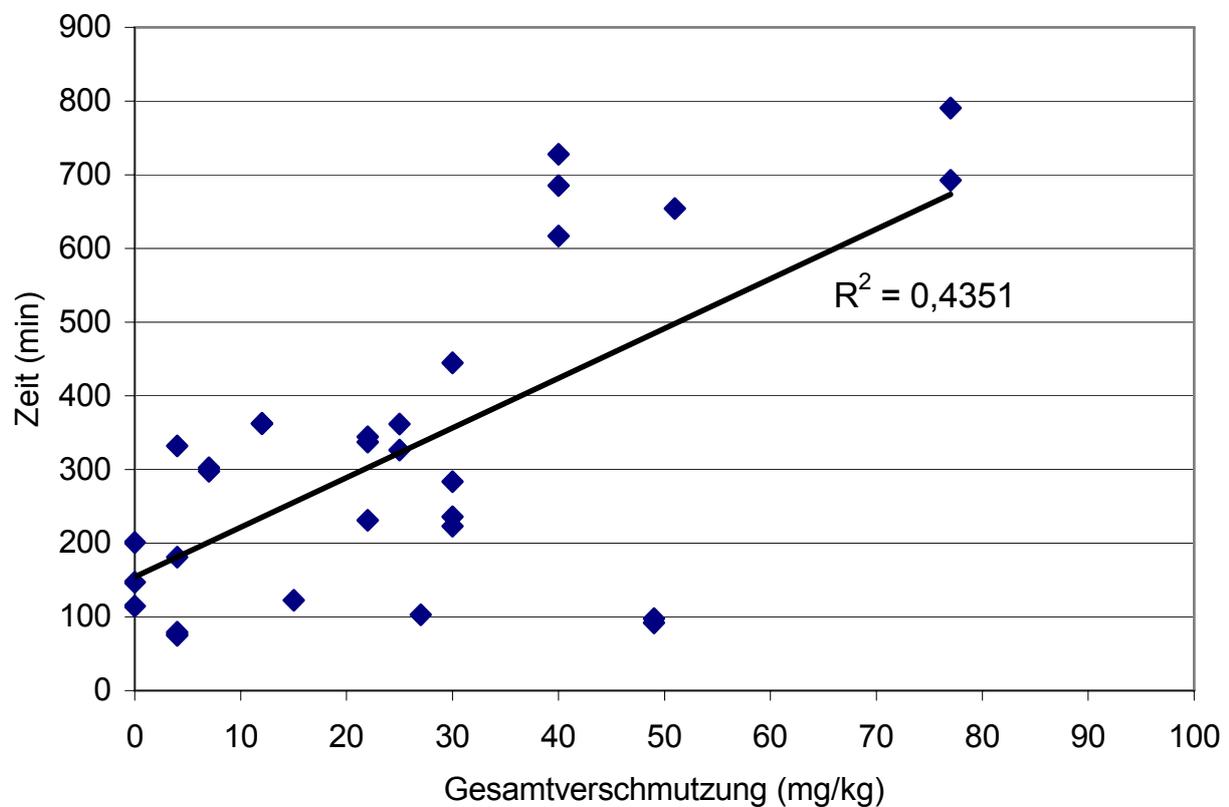


Abbildung 145: Messzeit der untersuchten Proben in Abhängigkeit von der Gesamtverschmutzung (DIN EN 12662)

Das Verfahren zeigte bisher keine befriedigende Reproduzierbarkeit der Messwerte für die einzelnen Proben. Als Ursache wurden Luftblasen im System, Temperaturschwankungen, Undichtigkeiten und unterschiedlich gequollenes Filtermaterial (Einfluss der Probenzusammensetzung?) in Betracht gezogen.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass im Vergleich zur Labormethode, bei der die Filterbelegung gravimetrisch bestimmt wird, keine signifikante Korrelation zu den hier gemessenen Verschmutzungen besteht.

Die Ursache liegt wahrscheinlich in den unterschiedlichen Funktionsmechanismen der verwendeten Verfahren. So wird bei der gravimetrischen Methode die Masse der abgeschiedenen Partikel gemessen. Hierbei kann es sich auch um großvolumige Elemente handeln, die auf die Durchflusscharakteristik des Filters nur sehr geringen Einfluss haben. Aufgrund der hohen Masse, gehen sie jedoch in die Bewertung der Gesamtverschmutzung stark ein. Derartige Partikel würden auch in der Praxis nur geringen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der mit diesem Öl betriebenen Maschinen besitzen, da sie durch die Filter zurückgehalten werden, jedoch keinen Schaden anrichten. Weiterhin wird bei der Labormethode eine Viskositätsanpassung mit Hilfe von Lösungsmitteln vorgenommen. Diese Lösungsmittel lösen gegebenenfalls auch Stoffe, die Filterporen im unverdünnten Zustand verschließen können. Hierzu sind noch Referenzmessungen nach der Methode DIN EN 12662 an unverdünnten Proben durchzuführen.

Obwohl sich bisher keine gute Korrelation zwischen beiden Methoden ergibt, kann festgestellt werden, dass die Methode auf Basis des Durchdringungswiderstandes die Verhältnisse in der Praxis besser wiedergibt. Daher sollte dieses Messprinzip im Hinblick auf die Entwicklung einer Alternativmethode weiter optimiert werden.

5.5.2 Methode auf Basis der Streulichtmessung

Als zweites Sensorprinzip wurde ein optisches Verfahren untersucht. Dabei wird die Streuung von Licht an den in der Probenflüssigkeit befindlichen Partikeln gemessen. In Abbildung 146 ist der verwendete Aufbau dargestellt. Senkrecht zu einem durch die Probe geführten Laserstrahl wird ein Empfänger platziert. Dieser fängt das an Verunreinigungen reflektierte und gebrochene Licht ein und wandelt die empfangene Lichtmenge in ein auswertbares Signal um.

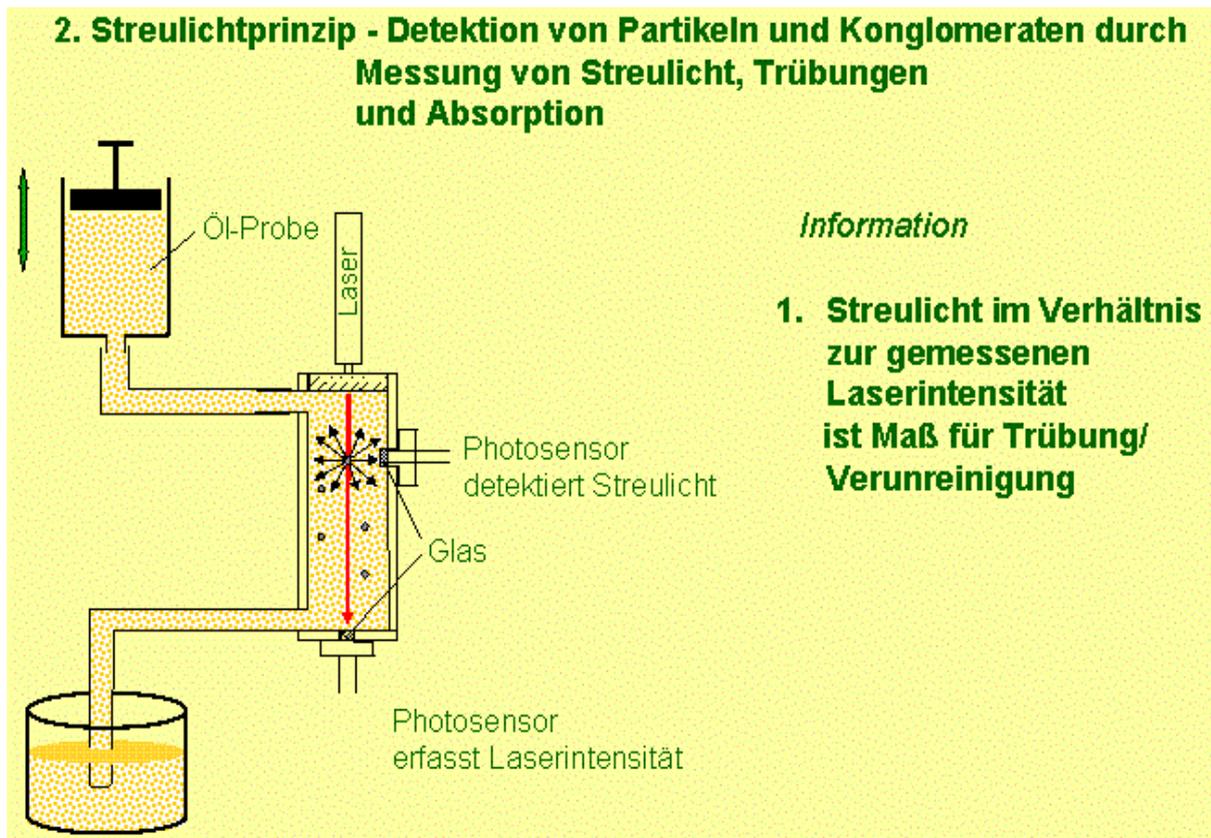


Abbildung 146: Versuchsaufbau – Optisches Verfahren

Erste Messungen, die nach diesem Prinzip durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass neben den Schmutzpartikeln auch in der Probe befindliche Luftbläschen erfasst werden und das Ergebnis verfälschen. Es wird daher an einer Lösung gearbeitet, mit der trotz der im Vorfeld erforderlichen Homogenisierung der Probe eine blasenfreie Probenahme möglich ist.

5.5.3 Weiterentwicklung der Schnelltestmethode des Technologie- und Förderzentrums

In Anlehnung an das Prüfverfahren DIN EN 12662 sollte das Schnelltestverfahren des Technologie- und Förderzentrums [39] zur optischen Beurteilung der Verschmutzung in Rapsölkraftstoff angewandt und die Vergleichbarkeit mit der Labor-Methode überprüft werden. Als Ziel dieser Untersuchungen stand die sichere Detektion eines Verschmutzungsgrades des Rapsöls, der die Nutzung als Kraftstoff nach Norm nicht mehr zulässt. Hierbei sollten neben der zuverlässigen Funktion unter „Nicht-Laborbedingungen“ ebenfalls die Anwenderfreundlichkeit und Robustheit des Schnelltestverfahrens überprüft werden.

Bei diesem Verfahren werden 30 ml der Rapsölprobe mit einer Spritze senkrecht durch einen 5 µm Filter in einem Spritzenvorsatzfilterhalter gedrückt. Nach Trocknen des Filters mit Luft und Petrolether wird der Rückstand mit einem gegebenen Tableau verglichen und der entsprechende Wert für die Gesamtverschmutzung ermittelt.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Rapsölproben bekannter Gesamtverschmutzung (Labormethode, DIN EN 12662) nach der oben beschriebenen Schnelltestmethode analysiert. Es konnte festgestellt werden, dass dieses Verfahren sowohl bei sehr kleiner Gesamtverschmutzung als auch bei deutlicher Überschreitung des Grenzwerts zuverlässig arbeitete. Bei etwa 20 % der untersuchten Proben im Grenzbereich traten jedoch Unterschiede zur Labormethode auf. Die Beurteilung der Ergebnisse erwies sich hierbei zum Teil als schwierig, da die Differenzierung der Vergleichsfilter oft nicht ausreichend beziehungsweise unpräzise war.

Um diese Auswertung zu erleichtern und anwenderfreundlich zu gestalten, wurde in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Graphische Datenverarbeitung e.V. (ZGDV) eine PC-Software entwickelt. Abbildung 147 zeigt die computergestützte Auswerteeinheit. Mit dem Programm "FilterAnalyzer" können eingescannte Filter mit Referenzbildern verglichen werden und so einem entsprechenden Verschmutzungsgrad zugeordnet werden.



Abbildung 147: Computergestützte Auswerteeinheit für den Schnelltest

Hierbei wird zunächst nach der oben erläuterten Anleitung verfahren. Der trockene Filter mit dem Probenrückstand wird anschließend in Selbstlaminier-Karten fixiert und eingescannt. Zur einfachen Handhabung wird ein tragbarer Farb-Scanner, wie in Abbildung 147 gezeigt, empfohlen. Als

geeignet hat sich das Gerät „OpticSlim M12 Plus“ (Mobile Sheetfed Color Scanner) der Firma „plustek“ erwiesen. Die wichtigsten technischen Daten dieses Gerätes sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Tabelle 24: Technische Daten des „OpticSlim M12 Plus“

Technologie	Erweiterter Farbsensor mit CIS-Technologie
Auflösung	optisch: 600 dpi
Maximaler Scanbereich	A4, 216 mm x 356 mm
Scanmodus	Eingabeformat 48-Bit-Farbe, Ausgabeformat 24/48 Bit Eingabeformat 16-Bit-Graustufen, Ausgabeformat 8/16 Bit S/W: 1 Bit
Scanmethode	Einzelschritt
Schnittstelle	USB 2.0 Full Speed

Für das Einscannen der Filter haben sich die Selbstlaminier-Karten (Artikel-Nr. 00057380, 66 x 100 mm) der Firma Hama als geeignet erwiesen. Vor dem Scannen müssen in den Einstellungen der Scanner-Software die Größe des einzuscannenden Objektes angepasst (DIN A8) und das Speicherformat (*.bmp) festgelegt werden.

Für das ordnungsgemäße Ausführen des PC-Programms „FilterAnalyzer“ müssen folgende Systemvoraussetzungen erfüllt sein: IBM-kompatibler PC / ab 1 GB Prozessorleistung / mind. 256 MB Arbeitsspeicher / Betriebssystem: Windows 2000/XP mit .NET Framework 1.x.

Das Grundprinzip dieser Software liegt darin, dass das Programm das Bild des Filters hinsichtlich Partikelbelag, Grauwert und Farbwert mit Vorgaben aus der Referenzdatenbank vergleicht. Diese Referenzdatenbank wurde an der Universität Rostock erstellt und umfasst bisher 50 Vergleichsfilter mit bekanntem Verschmutzungsgrad. Das Ergebnis der Berechnung wird auf der Benutzeroberfläche farblich hervorgehoben und damit den Verschmutzungskategorien

- „Grenzwert eingehalten“ (grün),
- „Resultat im Grenzbereich - Limitwert für Verkäufer noch eingehalten“ (gelb),
- „Resultat im Grenzbereich - Limitwert für den Käufer noch eingehalten“ (orange) und
- „Grenzwert überschritten“ (rot)

zugeordnet.

Nach dem Starten des Programms erscheint das in Abbildung 148 dargestellte Fenster. Unter dem Menüpunkt „Bild“ wird zunächst „Referenz laden“ gewählt. Hierbei muss der entsprechende Ordner, der die Referenzbilder enthält, ausgewählt werden.

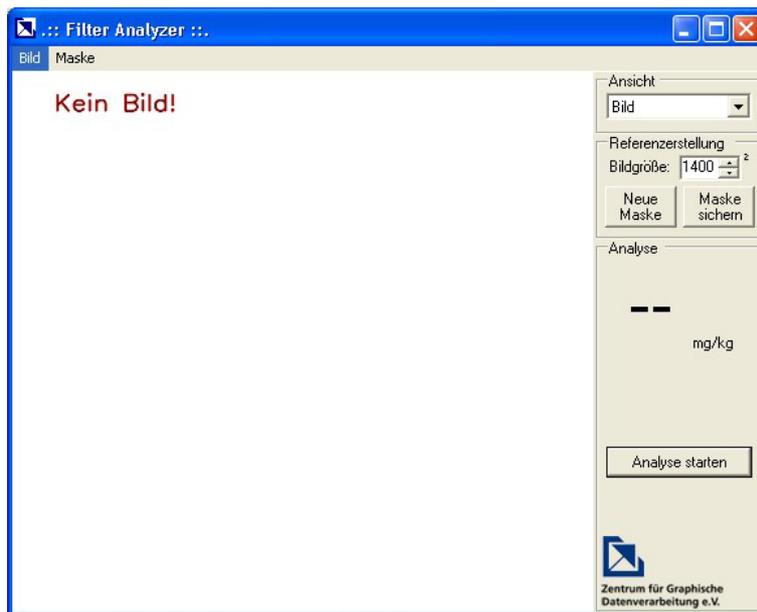


Abbildung 148: Grafische Oberfläche des Programms „FilterAnalyzer“

Anschließend wird im Menü „Bild“ „Bild laden“ oder „Neuestes Bild laden“ gewählt, und das entsprechende Bild selektiert. Anschließend muss im Ansicht-Modus zunächst „Bild/Maske“ ausgewählt werden. In dieser Ansicht müssen das Bild des Filters und die angezeigte Maske übereinstimmen, wie in Abbildung 149 gezeigt.

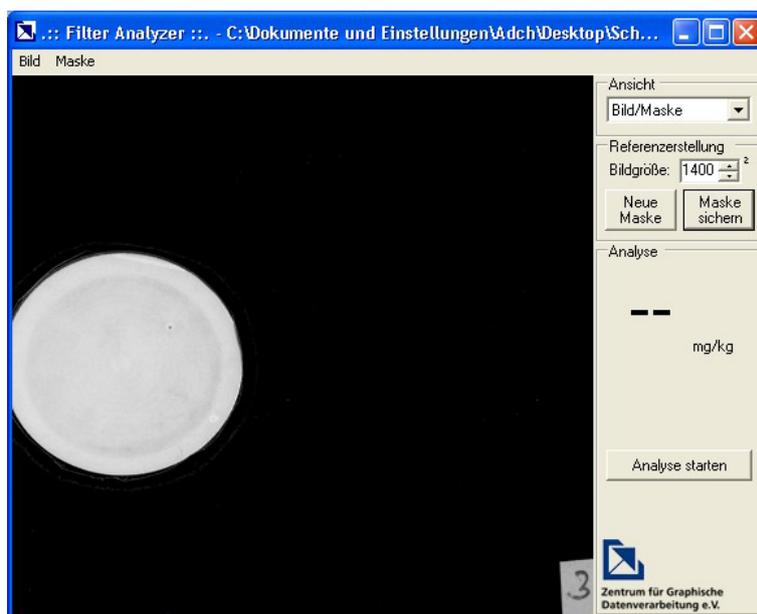


Abbildung 149: Übereinstimmung von Maske und Filter

Bei Nichtübereinstimmen, wie in Abbildung 150 gezeigt, ist eine neue Maske zu erstellen. Hierzu werden nach Drücken des Buttons „Neue Maske“ drei beliebige Punkte des Filterrandes angeklickt und damit die Maske erstellt.

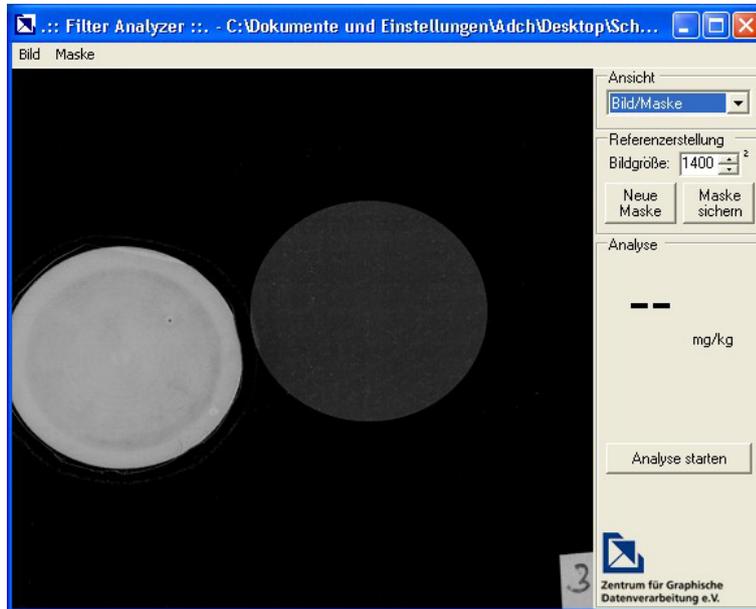


Abbildung 150: Nichtübereinstimmung von Maske und Filter

Durch Drücken des Befehls „Analyse starten“ wird das Bild ausgewertet und der entsprechende Messwert angezeigt. In Abbildung 151 sind Analysen gezeigt für drei Filter mit unterschiedlich hohem Verschmutzungsgrad.



Abbildung 151: Analyse dreier Filter mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad – links: Probe liegt unter dem Grenzwert, mitte: Probe liegt im Grenzwertbereich und rechts: Probe liegt über dem Grenzwert

Bei grenzwertigen Ergebnissen ist anschließend eine Überprüfung des Verschmutzungsgrades in einem Analysenlabor zu veranlassen.

Ein weiteres Problem bei der Durchführung dieser Schnelltestmethode bestand in der Handhabung. So erfordert diese Methode zum Beispiel den geübten Umgang mit Lösungsmitteln und Filtern, um das korrekte Durchführen zu gewährleisten. Es ist beispielsweise beim Filtrieren darauf zu achten, dass die Spritze senkrecht gehalten und die Probe gleichmäßig durch den Filter gedrückt wird. Der Schnelltestkoffer sollte deshalb um eine Vorrichtung zur senkrechten Spritzenfixierung erweitert werden. Das Durchdrücken von 30 ml Luft nach dem Spülen des Filters mit Petrolether ist vorteilhaft, um die Lösungsmittelrückstände zu entfernen und somit die gleichmäßige Filterbelegung nicht zu verändern.

Folgerung

Um die Vorteile der unter Kapitel 5.5.1 „Durchdringungswiderstand“ und 5.5.3 „TFZ-Methode“ beschriebenen Schnelltestverfahren miteinander kombinieren und dabei die Nachteile minimieren zu können, ist folgender Denkansatz möglich:

Als Grundaufbau dient der in Kapitel 5.5.1 beschriebene Versuchsaufbau. Hierbei wird eine definierte Probenmenge durch eine elektrische Vorrichtung auf 40 °C erwärmt und anschließend mit Pressluft durch den Filter gedrückt, wobei kontinuierlich das Durchflussvolumen gemessen wird. Die Auswertung der Filterbelegung kann anschließend über die beiden in den Kapiteln 5.5.1 und 5.5.3 beschriebenen Verfahren erfolgen. Zum Beispiel kann nach dem Trocknen des Filters und entsprechender Vorbereitung (Laminieren und Scannen) mithilfe des Bildverarbeitungsprogramms eine automatische Berechnung des Verschmutzungsgrads erfolgen. Die Referenzdatenbank soll an der Universität Rostock in Zukunft erweitert und gepflegt werden, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisauswertung weiter zu erhöhen. Ebenso kann über den Vergleich der Fließgeschwindigkeiten der Rapsölprobe in Abhängigkeit vom Durchflussvolumen eine Aussage über den Grad der Verschmutzung getroffen werden. Die Vorteile dieser Modifizierung sind schnelle Filtration durch Erwärmen der Probe und den Einsatz von Pressluft und eine zuverlässige Auswertung des Versuchs durch die graphische Verarbeitung der Filter beziehungsweise durch den Anstiegsvergleich.

5.6 Untersuchungen zur Lagerung von Rapsölkraftstoff

Der Lagerungsversuch wurde im März 2005 mit insgesamt 108 unterschiedlichen Varianten gestartet und endete im September 2006. Der Lagerungszeitraum beträgt demnach maximal 1½ Jahre. Im Folgenden wird der Einfluss der Lagerung auf die Kennwerte Säurezahl, Oxidationsstabilität und Wassergehalt von Rapsölkraftstoff vorgestellt. Ausgangsbasis für die Datenanalyse ist die jeweilige Kraftstoffqualität „Rapsölkraftstoff aus Winterraps“, „Rapsölkraftstoff aus Winterraps vergällt mit RME“, „Rapsölkraftstoff aus HO-Sommerraps“, „Rapsölkraftstoff aus Ölen von Winterraps und HO-Sommerraps“. Die genaue Versuchsbeschreibung ist in Kapitel 4.7, S. 58f dargestellt.

Die in den Untersuchungen verwendeten „Gastronormbehälter“ für die Lagerungsvariante „Material Edelstahl“ haben sich als wenig geeignet erwiesen. Wiederholt traten Undichtigkeiten, vermutlich im Bereich der Gummidichtung auf, die dazu führten, dass zum Beispiel feuchte Luft oder auch Wasser in das Lagerbehältnis eindringen konnten. Diese Auffälligkeiten werden bei der Interpretation der Ergebnisse des Lagerungsversuchs im Folgenden berücksichtigt.

In Abbildung 152 und Abbildung 153 sind die Temperaturverläufe der Varianten „Tagesgang“ und „dunkel 20 °C“ während des Untersuchungszeitraums dargestellt.

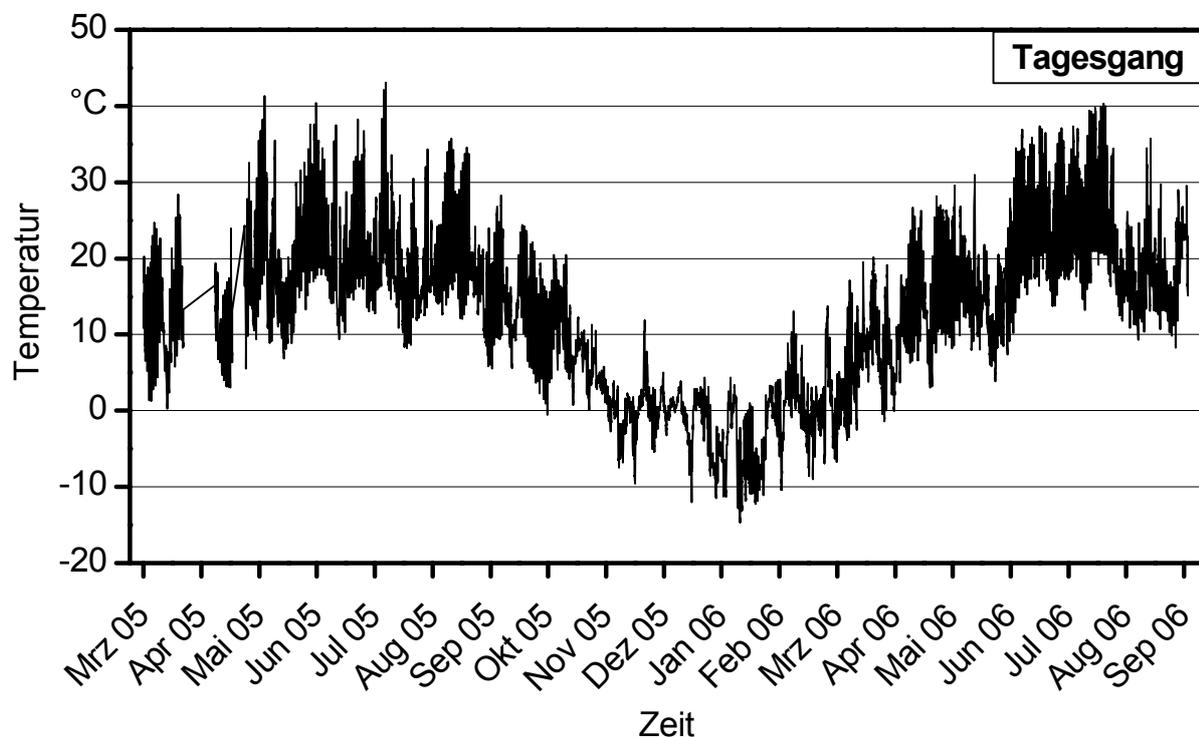


Abbildung 152: Temperaturverlauf der Variante „Tagesgang“

Wie aus Abbildung 152 ersichtlich wird, waren die Rapsölkraftstoffproben der Variante „Tagesgang“ während der 1½-jährigen Lagerung einem ΔT von mehr als 50 K ausgesetzt. Dahingegen betrug die Temperaturdifferenz bei der Lagerungsvariante „dunkel 20 °C“ etwa 6 K, bei einem Maximum von knapp 24 °C.

Die Temperatur der Lagerungsvariante „dunkel 5 °C“ wurde nicht erfasst, da von einer Temperatur mit Schwankungen von höchstens ± 1 K in den zur Lagerung verwendeten Kühlschränken ausgegangen werden kann.

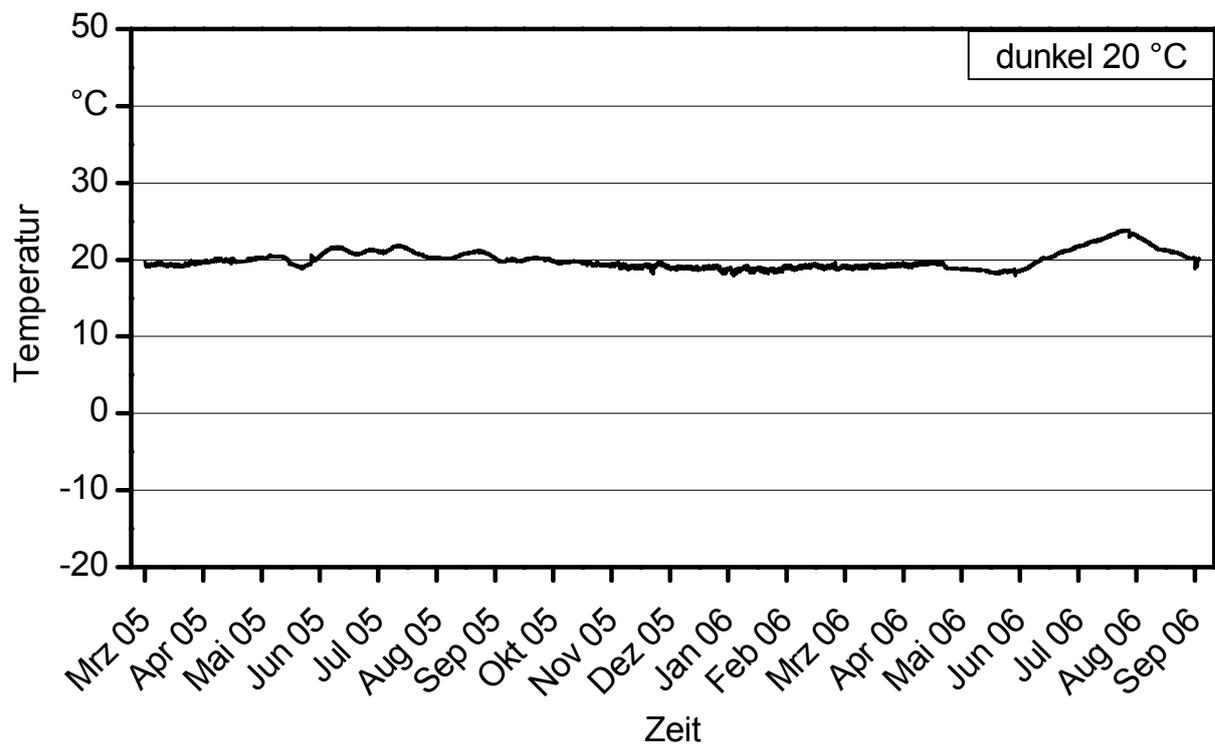


Abbildung 153: Temperaturverlauf der Variante „dunkel 20 °C“

Eine statistische Absicherung der im Folgenden getroffenen Aussagen ist aufgrund der vorgegebenen Versuchsmatrix ohne Wiederholungen nicht möglich.

5.6.1 Säurezahl

Bei allen eingelagerten Rapsölkraftstoffen sind während des gesamten Untersuchungszeitraums von 1½ Jahren nur geringe Änderungen der Säurezahl aufgetreten. Abbildung 154 bis Abbildung 157 zeigen die Entwicklung der Säurezahl für die verschiedenen Lagerungsvarianten. Der Grenzwert für die Säurezahl von 2,0 mg KOH/g wird von keiner analysierten Probe überschritten. Rapsölkraftstoff weist hinsichtlich der Säurezahl eine hohe Lagerstabilität auf. Auffällig ist, dass bereits drei Monate nach der Einlagerung eine Verringerung der Säurezahl im Vergleich zum Ausgangswert um etwa 0,1 mg KOH/g festzustellen war. Wie bereits in Kapitel 4.7.2, S. 62 erwähnt, wurden Rapsölkraftstoffe, die mindestens einen Grenzwert deutlich nicht eingehalten haben in den Untersuchungen nicht mehr weiter berücksichtigt. Aus diesem Grund sind zum Beispiel in Abbildung 154 für die Beprobung 09/2006 „Tagesgang“ keine Analysenwerte aufgezeigt. Die besten Ergebnisse mit nahezu konstanter Säurezahl wurden bei der Einlagerung „dunkel 5 °C“ erzielt. Ein in der Tendenz geringfügiger Anstieg der Säurezahl konnte bei der Lagerung „Tagesgang“ und „dunkel 20 °C“ beobachtet werden. Die Kraftstoffvarianten unterscheiden sich in der Lagerstabilität hinsichtlich der Säurezahl nicht. Auch das Material der Lagerbehälter und Unterschiede im Gasaustausch nehmen keinen Einfluss auf die Säurezahl.

Bemerkenswert ist, dass trotz zum Teil hoher Anstiege des Wassergehalts in den Kraftstoffproben, siehe hierzu Kapitel 5.6.3, S. 198 f, offensichtlich keine hydrolytische Spaltung eingesetzt hat, die zu einem deutlichen Anstieg der Säurezahl geführt hätte.

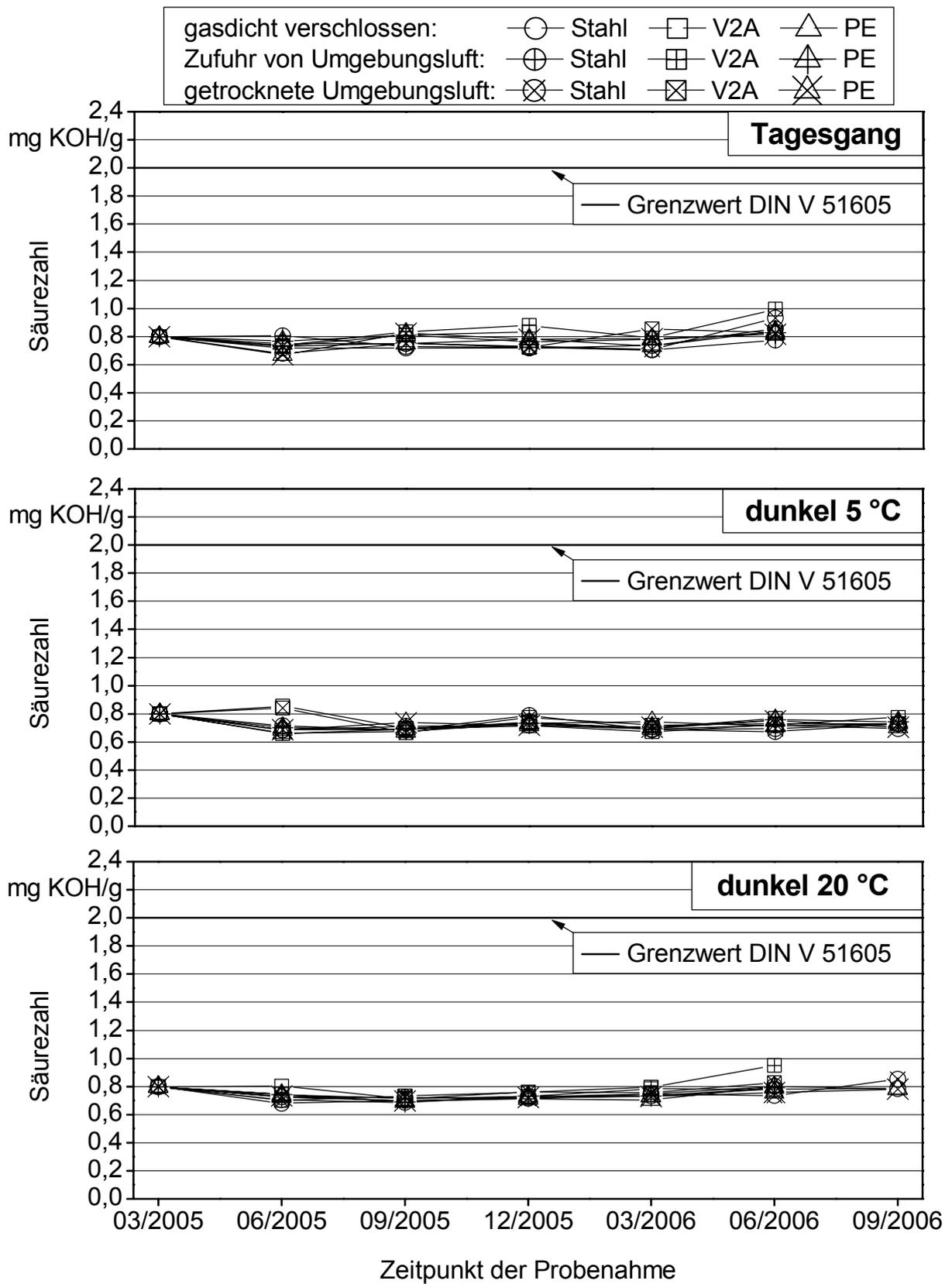


Abbildung 154: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps

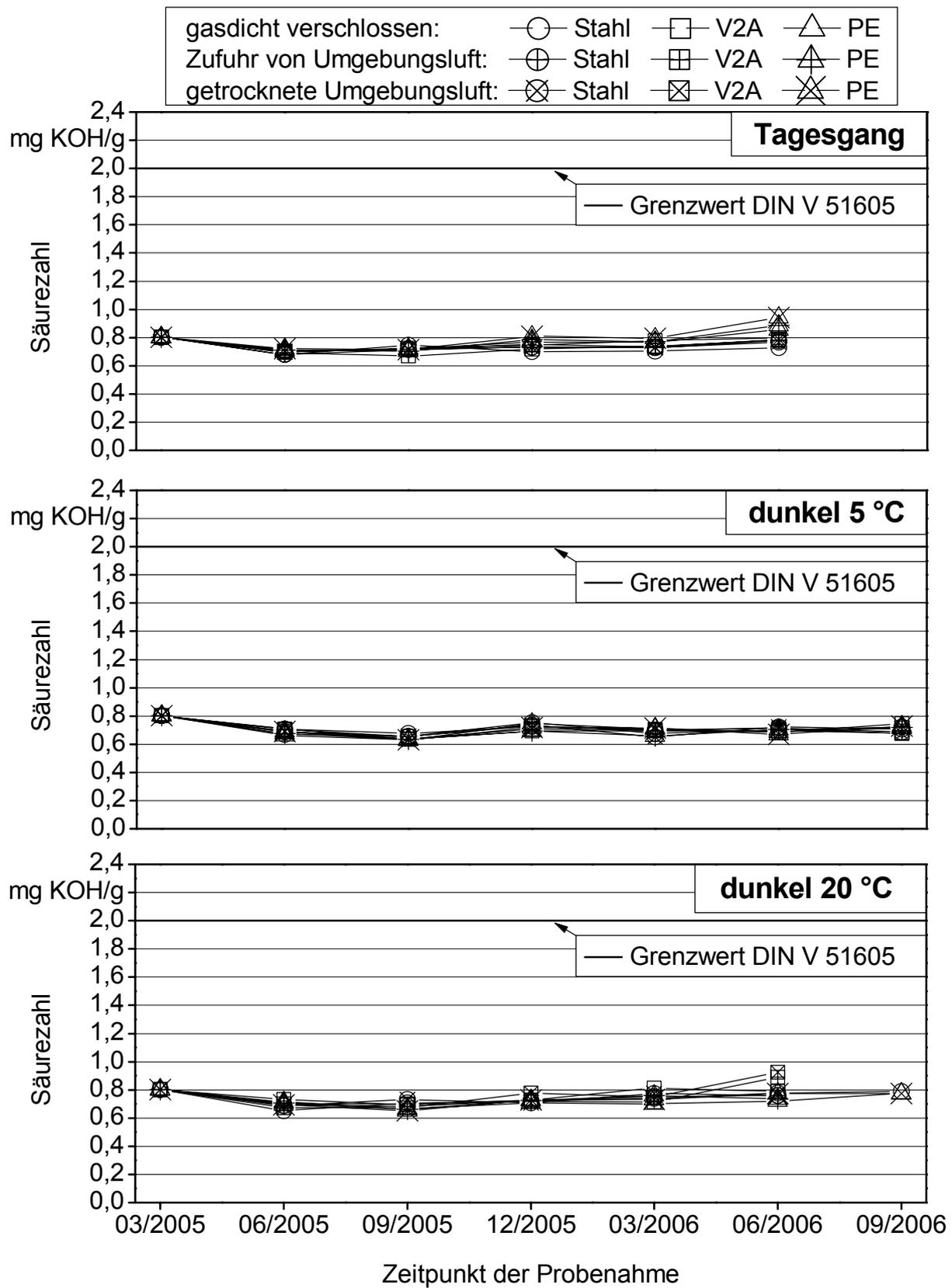


Abbildung 155: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME

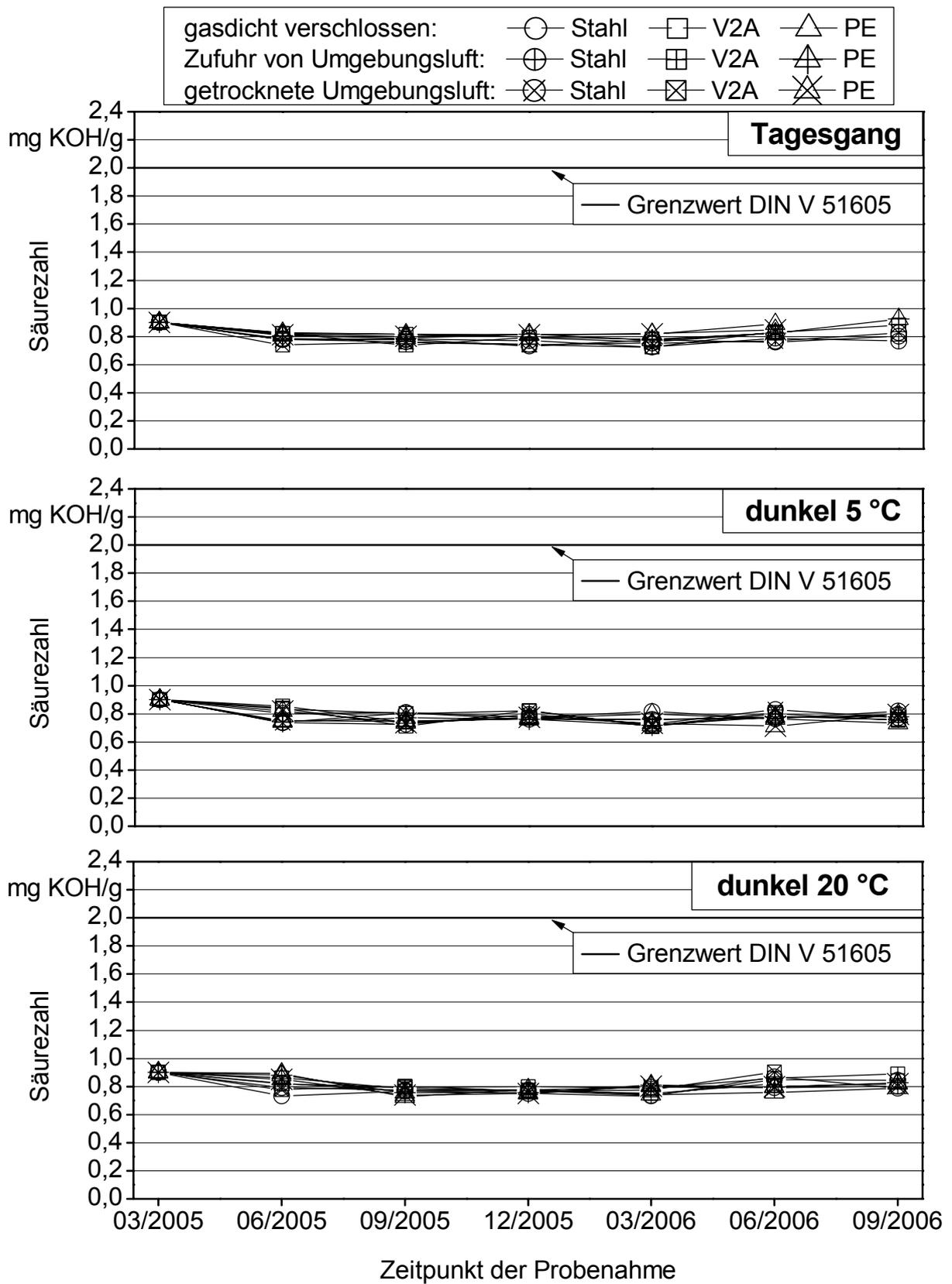


Abbildung 156: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps

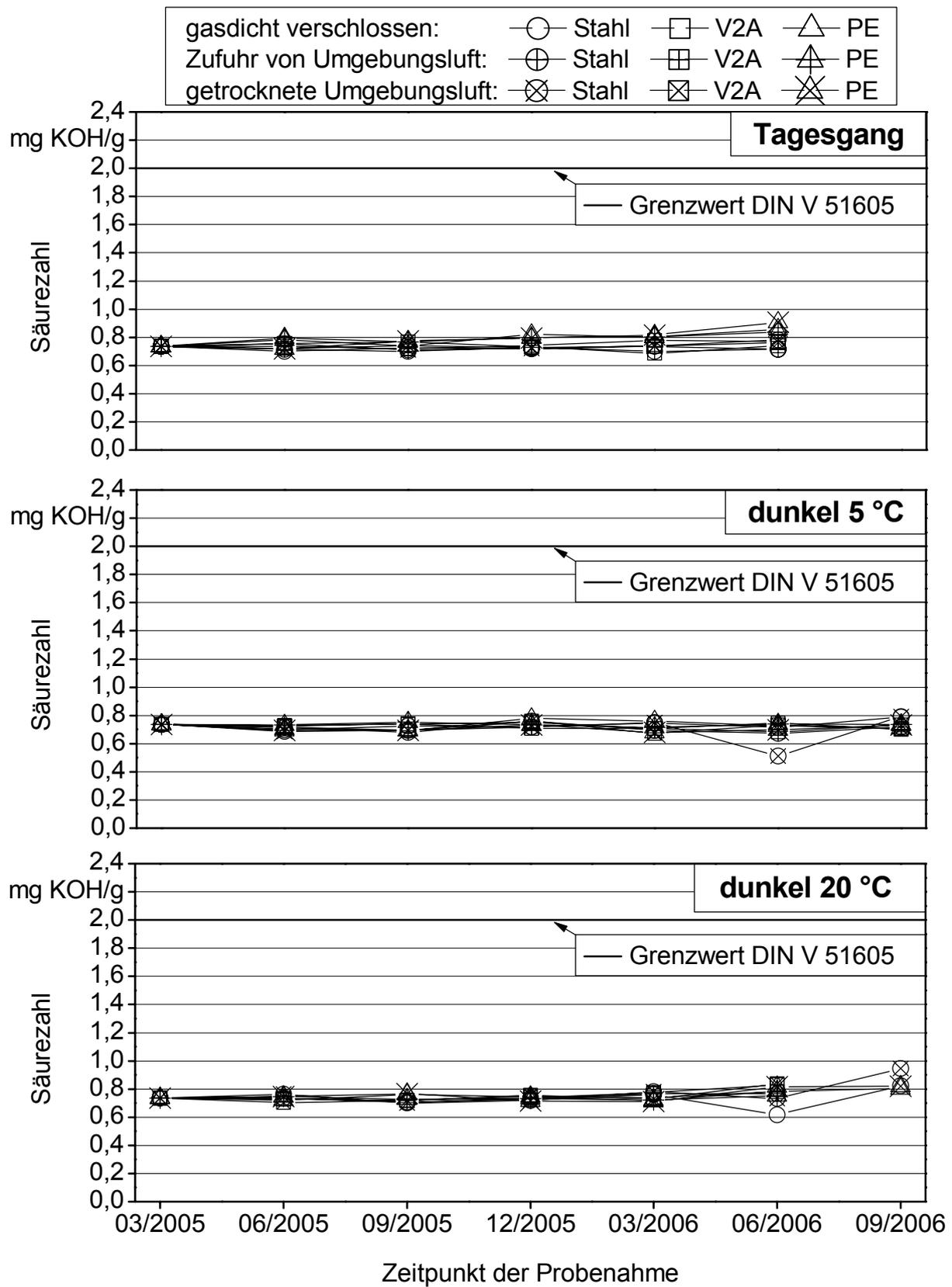


Abbildung 157: Säurezahl (DIN EN 14104) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps

5.6.2 Oxidationsstabilität

Die gemessenen Oxidationsstabilitäten der Rapsölkraftstoffproben aus dem Lagerungsversuch werden in Abbildung 158 bis Abbildung 161 gezeigt. Die Oxidationsstabilität für alle Kraftstoffvarianten wurde durch die Lagervariante „Tagesgang“ am meisten negativ beeinflusst. Schon nach einem halben Jahr Lagerung von Rapsölkraftstoff unter wechselnder Temperatur und Einstrahlung sank die Oxidationsstabilität von 7,9 h für Rapsölkraftstoff aus Winterraps, beziehungsweise 8,8 h für mit RME vergälltem Rapsölkraftstoff aus Winterraps, unter den Grenzwert gemäß der Vornorm DIN V 51605 von 6 h. Die besten Ergebnisse wurden bei der Lagerung „dunkel 5 °C“ erzielt. Wesentlichen Einfluss auf die Oxidationsstabilität nimmt bei der Lagerung demnach die Temperatur.

Die besten Lagereigenschaften wies erwartungsgemäß Rapsölkraftstoff aus High-Oleic-Sommerraps auf, dessen Oxidationsstabilität zu Beginn des Lagerungsversuchs 17,3 h betrug. Selbst bei den ungünstigen Lagerungsbedingungen „Tagesgang“ konnten einzelne Kraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps über ein Jahr gelagert werden, ohne dass der Grenzwert unterschritten wurde. Außerdem zeigten die Mischung von Ölen aus Winterraps und High-Oleic-Sommerraps günstigere Lagerungseigenschaften als Rapsölkraftstoff aus Winterraps, beziehungsweise vergällter Rapsölkraftstoff aus Winterraps. Der RME-Anteil in Winterraps, vermutlich aufgrund der dem RME zugesetzten Antioxidantien, wirkte sich auch günstig auf die Oxidationsstabilität aus.

Die gasdichte Lagerung von Rapsölkraftstoff, im Versuch simuliert durch eine Überlagerung mit Stickstoff, wirkte sich in einigen Varianten günstig auf die Oxidationsstabilität aus. Zum Teil wurde der Effekt aber durch andere Einflussfaktoren überlagert. Der positive Einfluss der Überlagerung mit Stickstoff machte sich am deutlichsten bei der Lagervariante „dunkel 20 °C“ bemerkbar. Der Gasaustausch der Lagerbehälter mit getrockneter Umgebungsluft hatte auf die Oxidationsstabilität offensichtlich keinen positiven Einfluss.

Der Lichtschutz, der bei den Lagergefäßen aus Stahl und Edelstahl gegeben ist, macht sich bei der Lagervariante „Tagesgang“ positiv bemerkbar. Lichtdurchlässige HDPE-Behälter schnitten tendenziell schlechter ab. Diese Aussage wird dadurch bestätigt, dass bei den beiden Lagervarianten „dunkel“ ein offensichtlicher Materialeinfluss auf die Oxidationsstabilität nicht festgestellt werden kann. Das tendenziell schlechtere Abschneiden der Lagervariante „Edelstahl“ im Vergleich zur Variante „Stahl“ hängt sehr wahrscheinlich mit den bereits erwähnten Undichtigkeiten der Gastronormbehälter zusammen und ist somit nicht auf einen tatsächlichen Materialeinfluss zurückzuführen. Außerdem ist die Kontaktfläche des Rapsölkraftstoffs mit dem Luftüberstand bei den quaderförmigen Edelstahlbehältern etwa doppelt so groß als bei den zylindrischen Stahl- und HDPE-Behältern. Dadurch ist die Umsetzungsrate des Luftsauerstoffs erhöht.

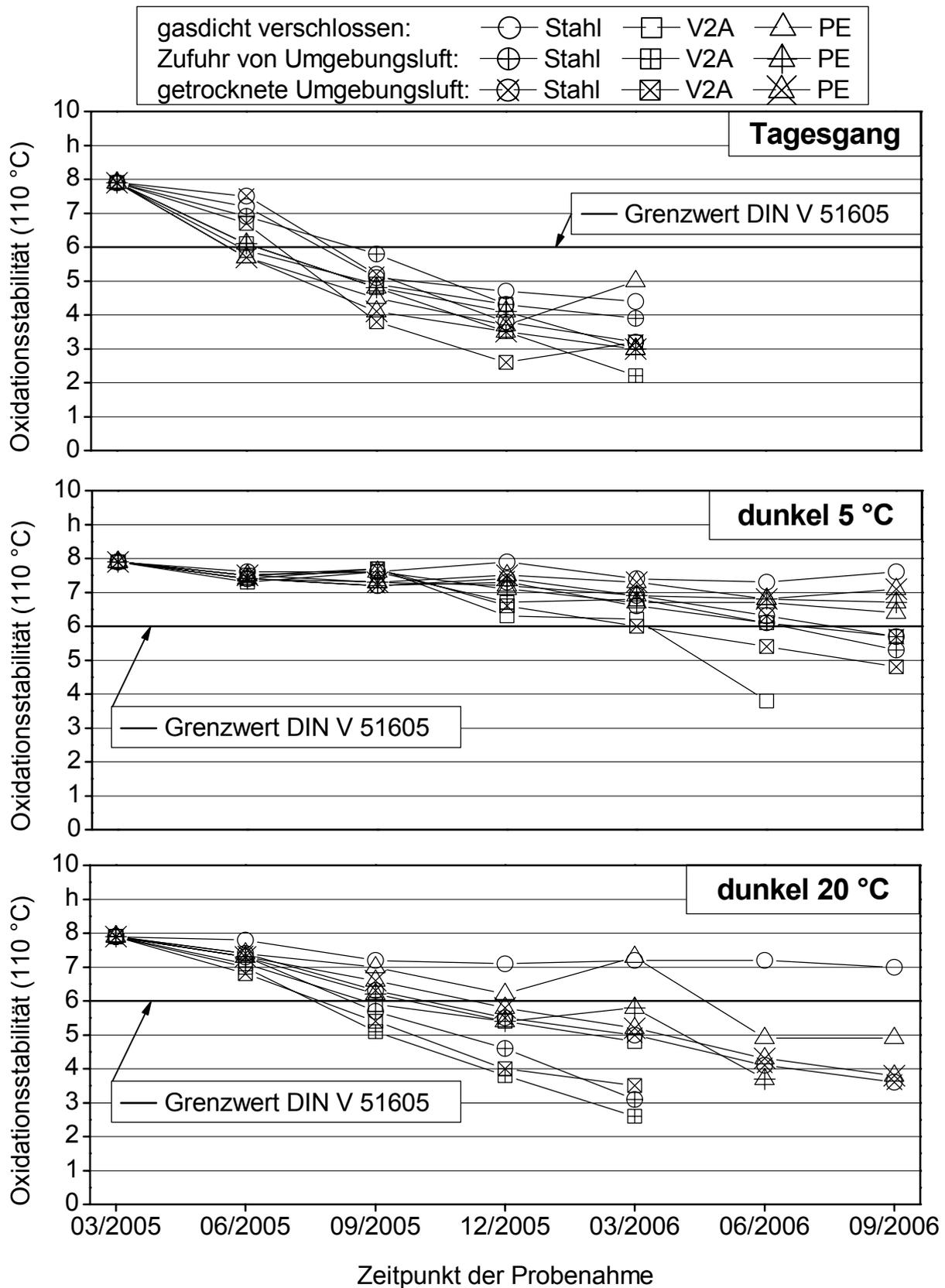


Abbildung 158: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps

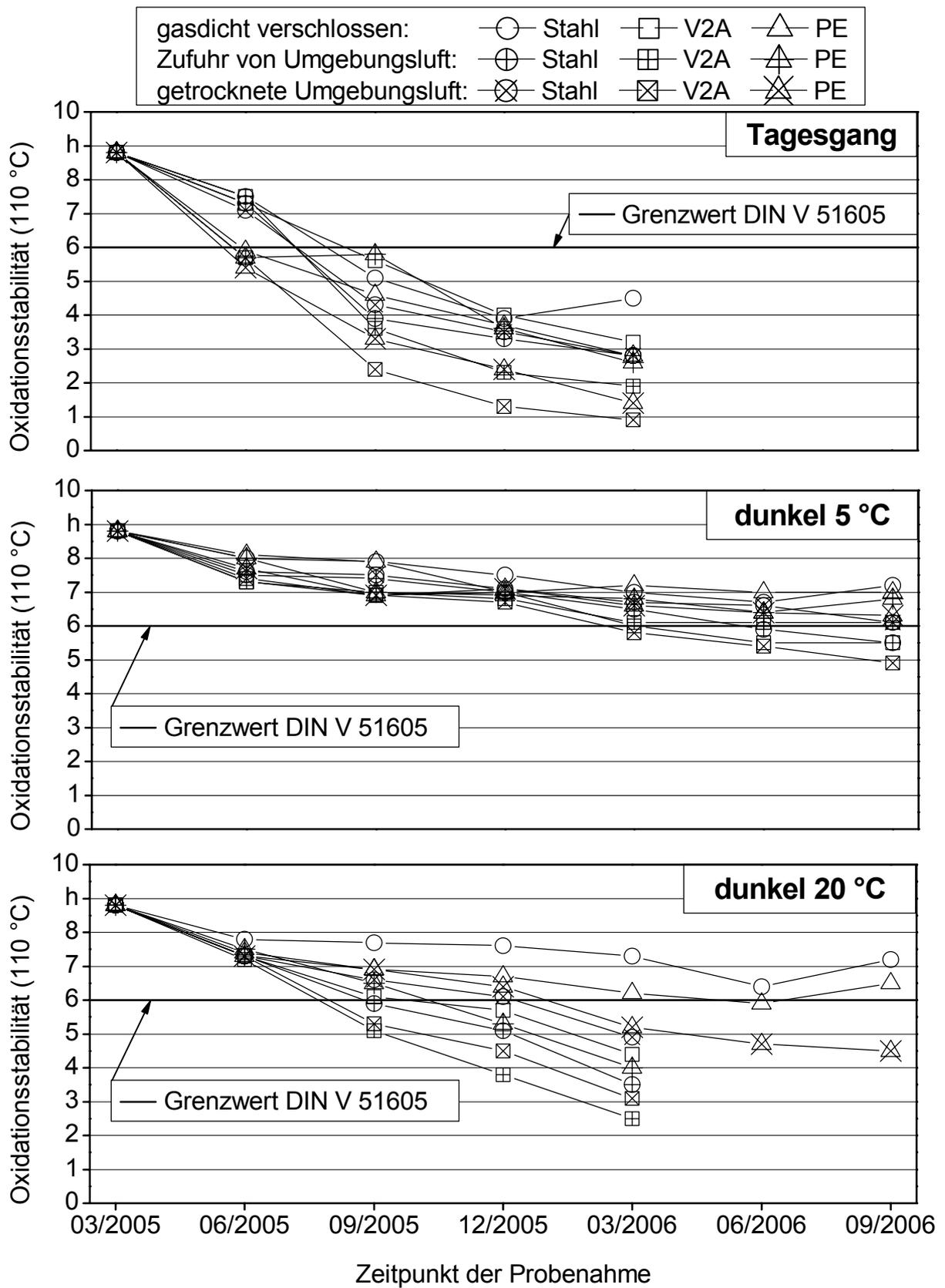


Abbildung 159: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME

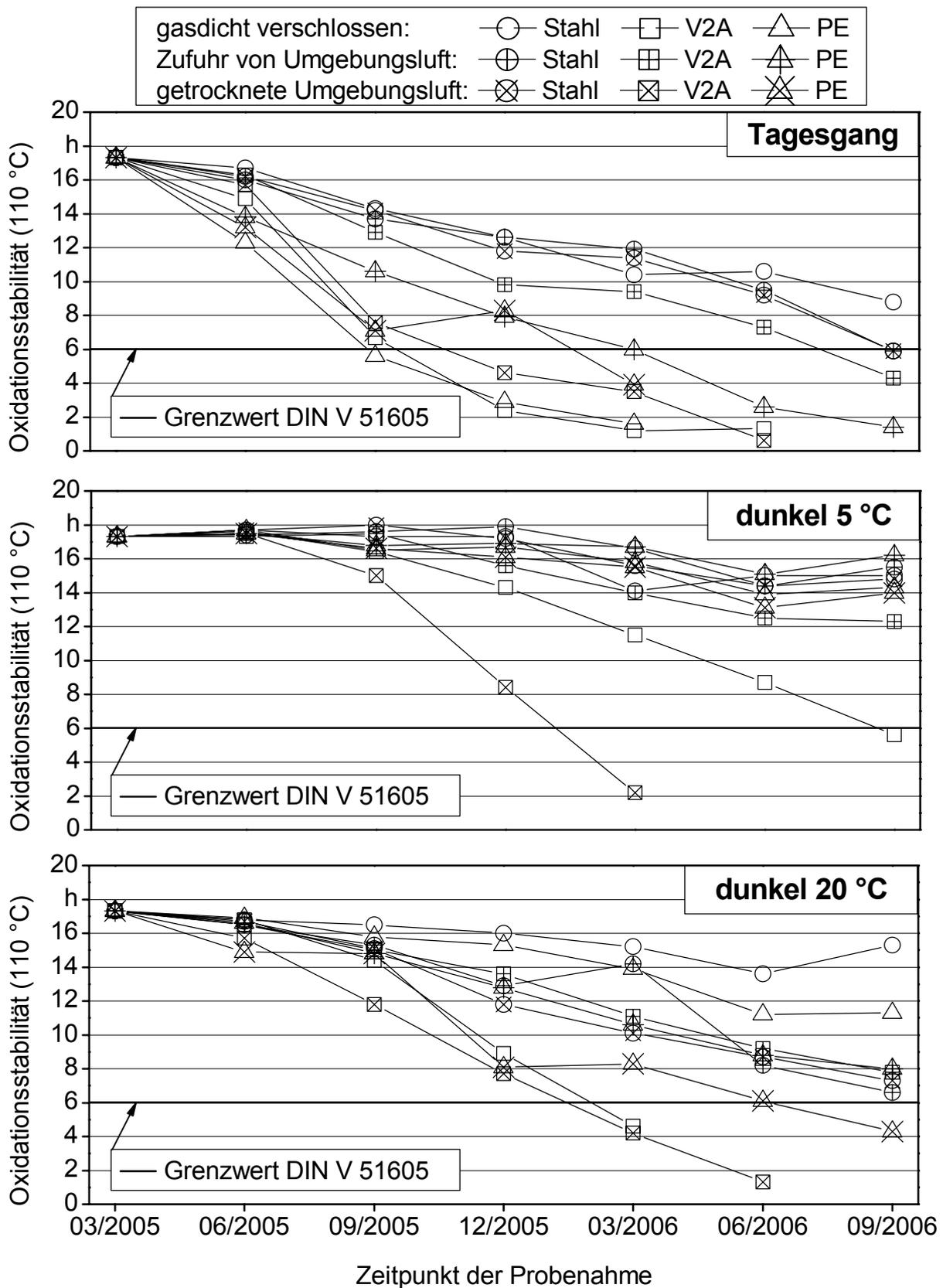


Abbildung 160: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps

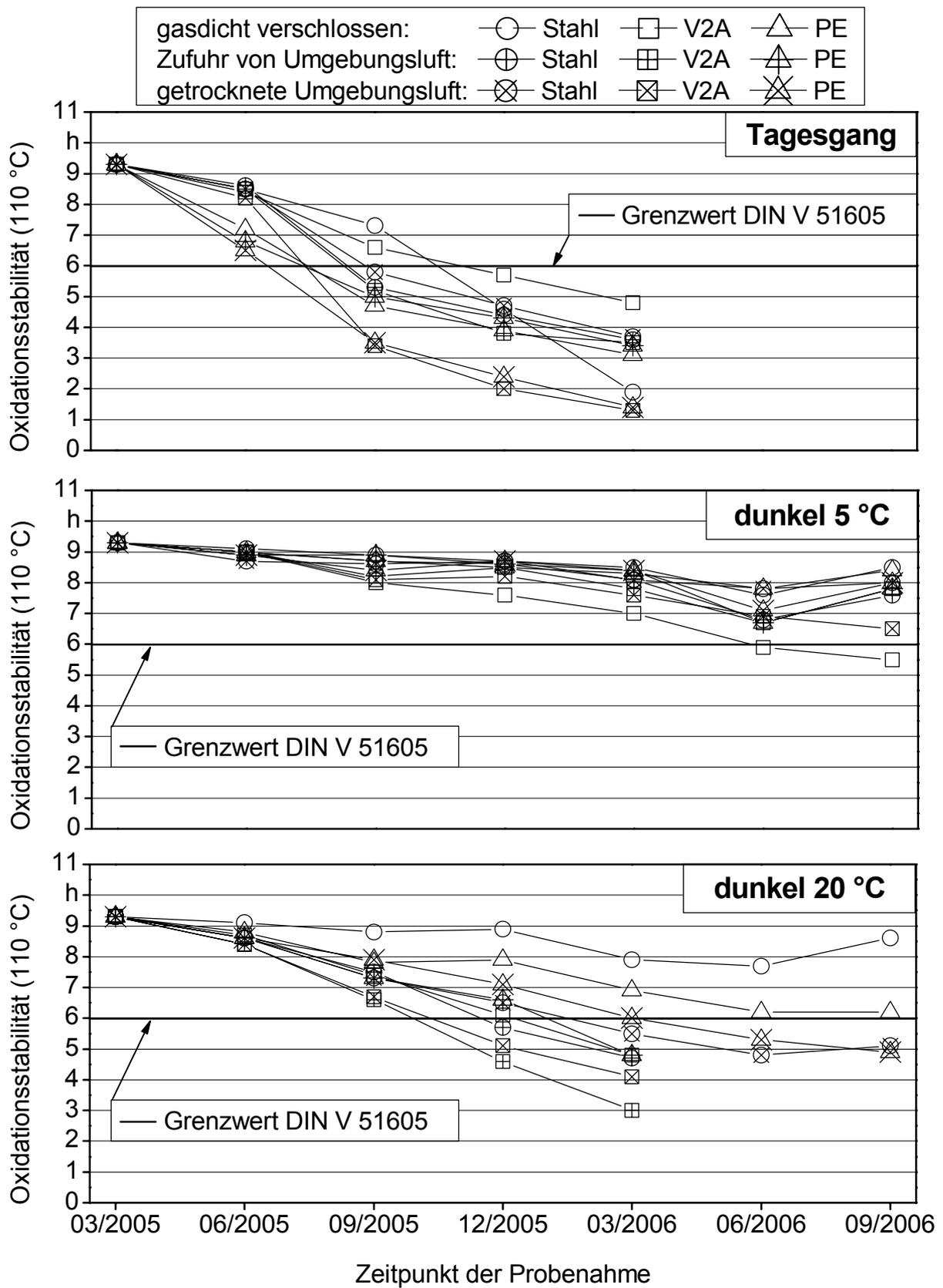


Abbildung 161: Oxidationsstabilität (DIN EN 14112) verschiedener Lagerungsvarianten für Rapsölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps

5.6.3 Wassergehalt

Die Änderung des Wassergehalts in Rapsölkraftstoffproben aus dem Lagerungsversuch ist in Abbildung 162 bis Abbildung 165 graphisch dargestellt. Hinsichtlich des Wassergehalts in Rapsölkraftstoff hat sich die Lagerung „dunkel 5 °C“ als am geeignetsten erwiesen. Gute Lagerungsergebnisse wurden auch bei der Lagerung „dunkel 20 °C“ erzielt, wohingegen die Lagerung „Tagesgang“ etwas ungünstiger abschnitt.

Mit RME vergällter Rapsölkraftstoff aus Winterraps, lässt sich hinsichtlich des Wassergehalts genauso gut lagern wie Rapsölkraftstoff aus Winterraps, High-Oleic-Sommerraps oder eine Mischung aus Ölen von Winterraps und High-Oleic-Sommerraps.

Im zeitlichen Verlauf wurden die vergleichsweise höchsten Wassergehalte bei der Beprobung 03/2006 festgestellt.

Der Gasaustausch mit getrockneter Umgebungsluft sowie eine Überlagerung mit Stickstoff haben erwartungsgemäß günstige Auswirkungen auf den Wassergehalt. Jedoch traten diese Effekte bei den Untersuchungen nicht so stark wie erwartet in Erscheinung und liegen häufig in den Grenzen der Wiederholbarkeit des Prüfverfahrens.

Bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff in den Edelstahlbehältern ist vor allem bei der Variante „Tagesgang“ ein hoher Anstieg des Wassergehalts über den Grenzwert von 0,075 Masse-% zu verzeichnen. Ursächlich hierfür war sehr wahrscheinlich, wie bereits beschrieben, die Undichtigkeit der Behälter sowie die vergleichsweise größere Kontaktfläche des Kraftstoffs zum Luftüberstand. Bei der Beprobung 03/2006, Lagervariante „Rapsölkraftstoff aus Winterraps, Edelstahl, Zufuhr von Umgebungsluft“ wurde sogar freies Wasser im Behälter festgestellt. Ansonsten konnte kein deutlicher Einfluss des Materials auf den Wassergehalt erkannt werden.

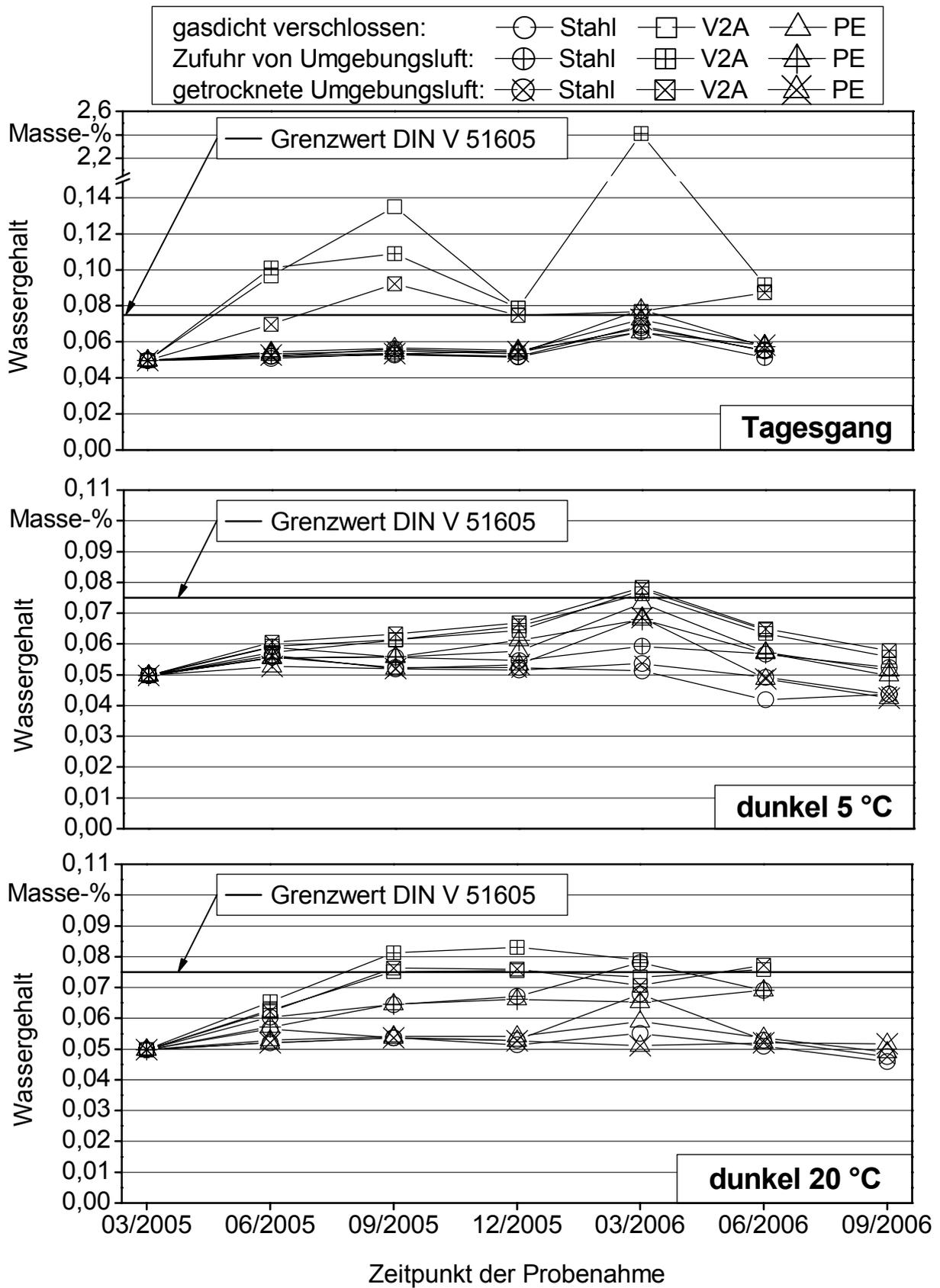


Abbildung 162: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Raps-
ölkraftstoffproben aus Winterraps

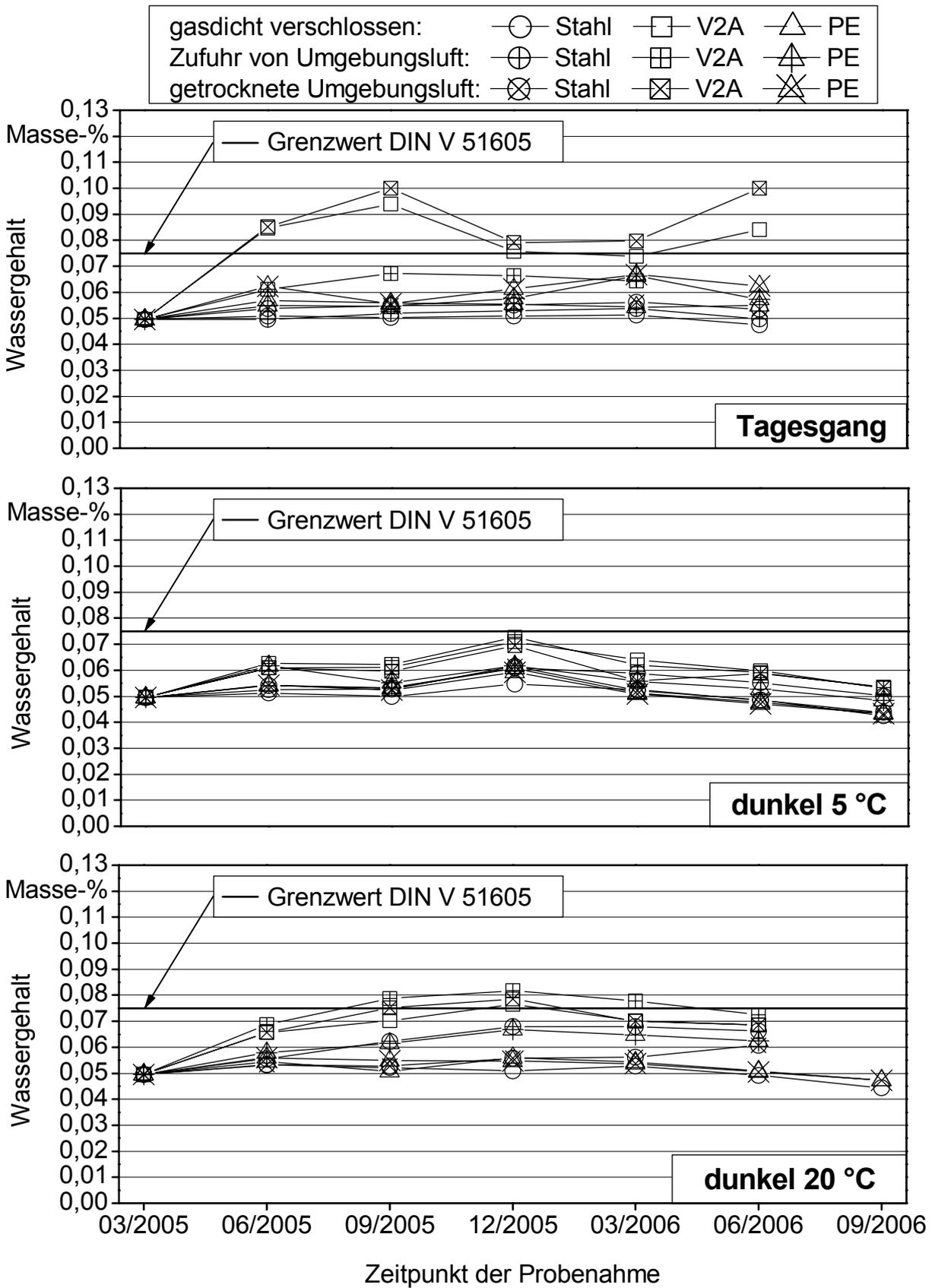


Abbildung 163: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Raps-
ölkraftstoffproben aus Winterraps vergällt mit RME

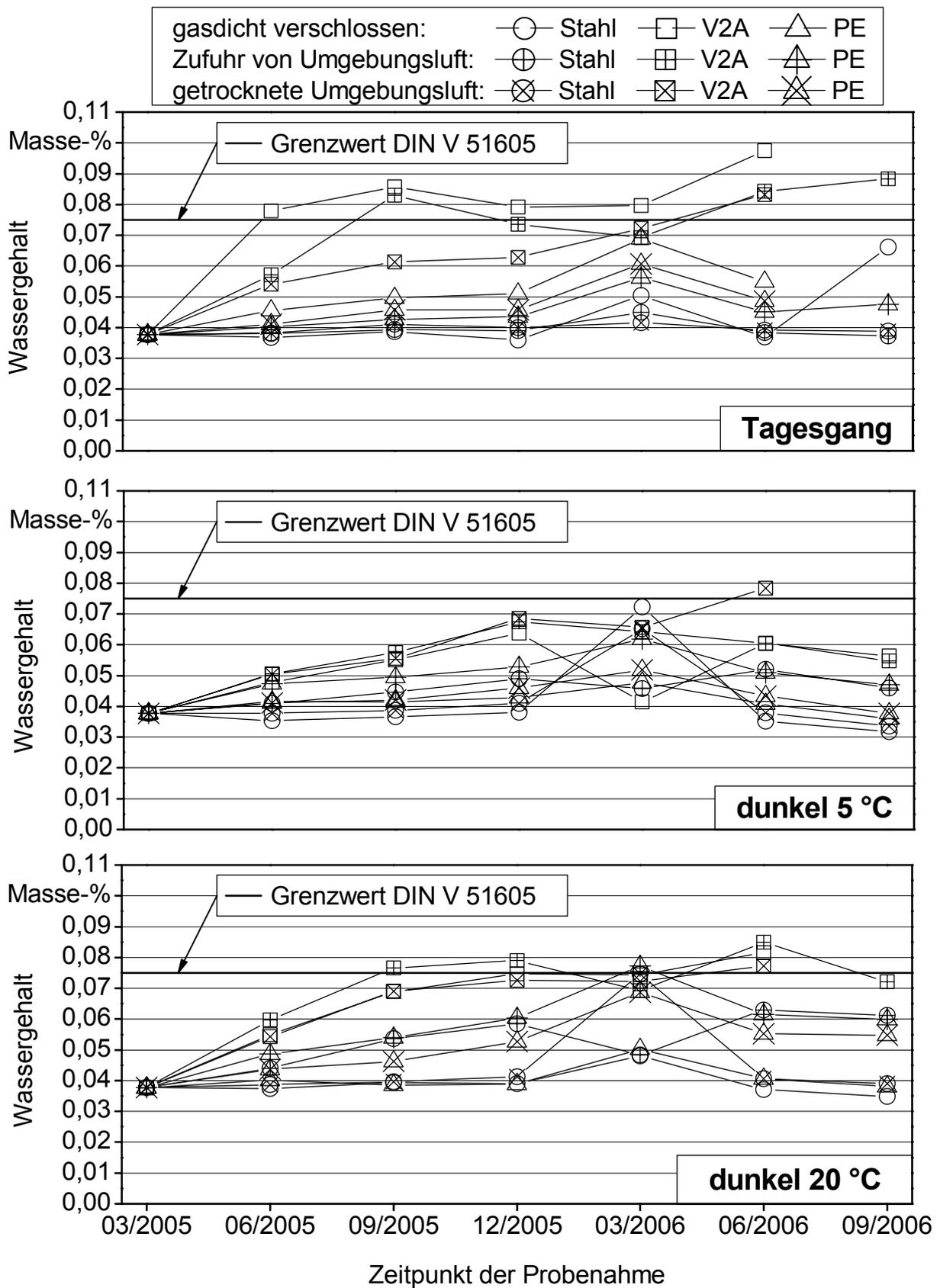


Abbildung 164: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Raps-
 ölkraftstoffproben aus High-Oleic-Sommerraps

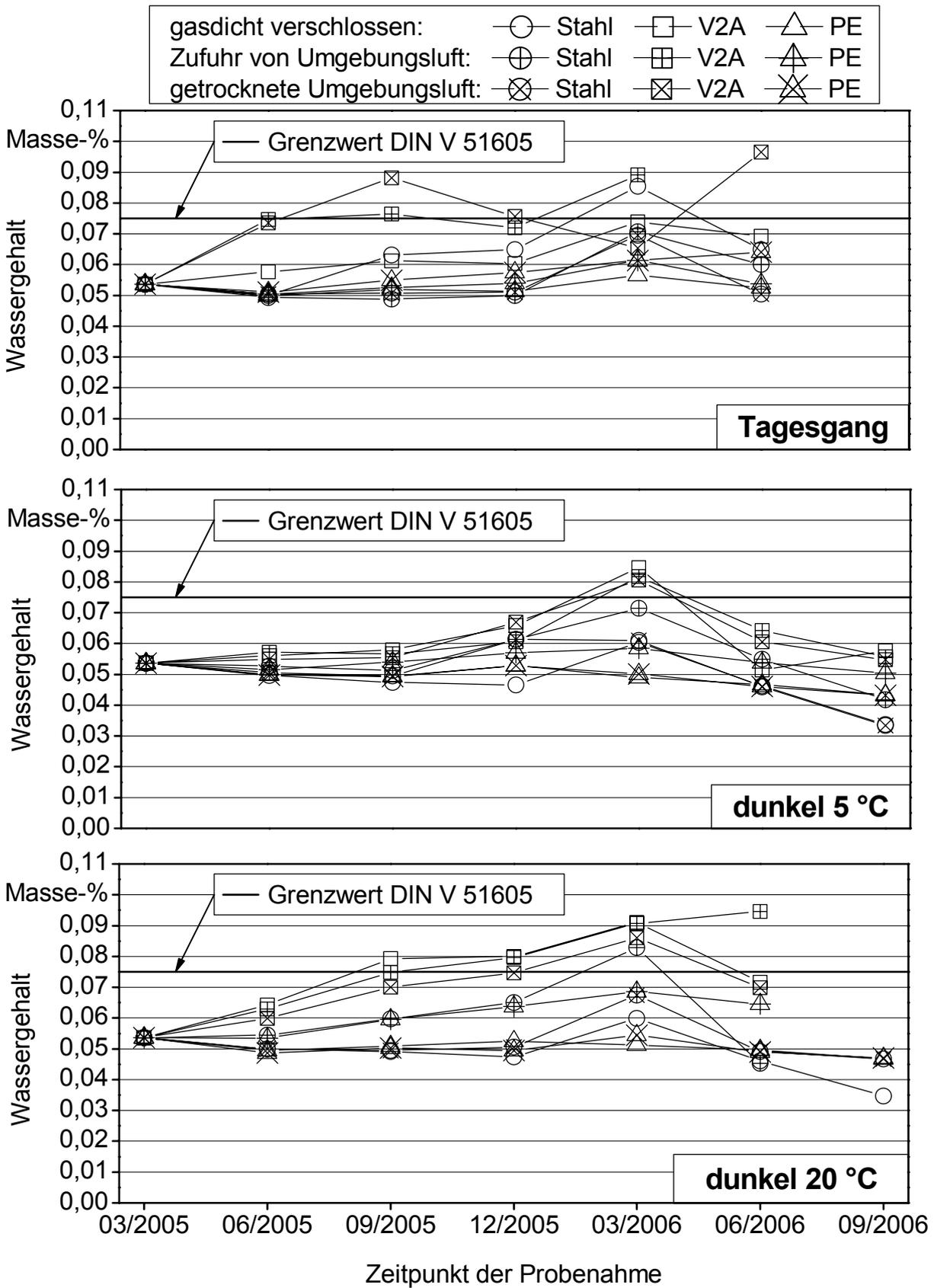


Abbildung 165: Wassergehalt (DIN EN ISO 12937) verschiedener Lagerungsvarianten für Raps-
ölkraftstoffproben aus Winter- und High-Oleic-Sommerraps

5.6.4 Empfehlung zur Lagerung von Rapsölkraftstoff

Rapsölkraftstoffe aus Winterraps, aus Winterraps mit Zusatz des Vergällungsmittels RME, aus High-Oleic-Sommerraps oder aus einer Mischung von Ölen aus Winterraps und Sommerraps sind unter optimalen Lagerungsbedingungen zumindest bis zu einem Jahr lagerstabil. Unter schlechten Lagerungsbedingungen kann die Qualität eines Rapsölkraftstoffs bereits nach drei Monaten Lagerung so beeinträchtigt sein, dass die Grenzwerte der Vornorm DIN V 51605 nicht mehr eingehalten werden. Hinsichtlich der Oxidationsstabilität bringen Rapsölkraftstoffe aus High-Oleic-Sommerraps oder mit Anteilen von Ölen aus High-Oleic-Sommerraps für eine längerfristige Lagerung günstige Voraussetzungen mit. Auch Rapsölkraftstoff aus Winterraps vergällt mit RME hat, vermutlich aufgrund des Anteils an Antioxidantien im RME, günstigere Lagereigenschaften hinsichtlich der Oxidationsstabilität als ein nicht vergällter Kraftstoff.

Temperatur und (Sonnen-)Einstrahlung nehmen großen Einfluss auf die Lagerstabilität von Rapsölkraftstoff. Deshalb ist eine Lagerung bei konstant niedrigen Temperaturen und unter Lichtabschluss, zum Beispiel in einem Erdtank, empfehlenswert.

Als Material für Lagertanks sind sowohl Edelstahl, Stahl als auch bedingt High-Density-Polyethylen (HDPE) geeignet. Nachteilig erweist sich HDPE, wie auch andere lichtdurchscheinende Materialien, wenn die Lagertanks der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Bei der baulichen Ausführung der Tanks ist darauf zu achten, dass das Eindringen von Wasser unterbunden wird. Die Kontaktfläche des Kraftstoffs mit dem Luftüberstand sollte möglichst gering sein. Deshalb sollte für eine längerfristige Lagerung von Rapsölkraftstoff der Tank vollständig befüllt sein. Unter dem Aspekt der Minimierung von Oxidationsvorgängen können stehende gegenüber liegenden Tanks vorteilhaft sein. Außerdem ist darauf zu achten, dass Rapsöl bei der Lagerung nicht mit katalytisch wirksamen Metallen, wie zum Beispiel Kupfer oder kupferhaltigen Legierungen, in Berührung kommt [59].

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.

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

Im Vorhaben wurde eine Vorlage für ein einzelbetriebliches Qualitätsmanagement für die Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen erstellt. Auf Basis der Software Microsoft® Office Excel wurden auf Formularblättern Maßnahmen zum Erreichen der erforderlichen Produktqualität für Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 zusammengestellt. Außerdem wurden Formulare zur Dokumentation der Verfahrensschritte vorgeschlagen. Der Maßnahmenkatalog ist 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. Die genannten Teilbereiche enthalten Tabellenblätter und Formulare, die sowohl direkt in der EDV-Anwendung ausgefüllt, oder ausgedruckt und von Hand bearbeitet werden können. Für Ölmühlenbetreiber besteht die Möglichkeit anhand dieser 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.



Abbildung 166: Maßnahmenkatalog auf Basis von Microsoft® Excel für ein Qualitätsmanagement in dezentralen Ölmühlen bei der Produktion von Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 – Startseite

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

6 Aktuelle Entwicklungen bei der Herstellung und Nutzung von Rapsölkraftstoff

Die Zahl der dezentralen Ölsaatenverarbeitungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland steigt seit 15 Jahren stetig an. Aus diesem Anlass führte das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im Frühjahr 2004, im Auftrag des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) und finanziell unterstützt durch die Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP) eine Umfrage durch mit dem Ziel, belastbares Datenmaterial über die Branche zu generieren [51]. 90 Fragebögen (37 %) konnten ausgewertet werden und lieferten folgendes Ergebnis.

Waren im Jahr 1999 ca. 79 dezentrale Ölmühlen bekannt, so waren im Frühjahr 2004 mindestens 219 Anlagen in Betrieb. In Bayern (93) und Baden-Württemberg (36) waren zusammen rund 60 % der dezentralen Ölmühlen angesiedelt. Einen deutlichen Zuwachs an Betrieben konnten vor allem Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz sowie Brandenburg verzeichnen.

Die befragten Ölmühlen wurden überwiegend ab dem Jahr 1991 in Betrieb genommen. Nur 2 % der Ölmühlen bestehen bereits länger. In den Jahren 1991 bis 1995 wurden rund 20 %, zwischen den Jahren 1996 und 2000 29 % der Betriebe errichtet. Ein starker Zuwachs erfolgte in den Jahren 2001 bis 2004, in diesem Zeitraum wurden 49 % der Ölsaatenverarbeitungsanlagen eröffnet. Über 70 % der befragten Betreiber einer dezentralen Ölmühle würden, falls sie vor der Entscheidung stünden, wieder eine Ölgewinnungsanlage errichten.

Eine Hochrechnung auf 219 ölsaatenverarbeitende Betriebe ergab für das Jahr 2003 eine verarbeitete Menge Rapssaat von ca. 380.000 t und eine erzeugte Ölmenge von 127.000 t. Dies bedeutet, dass in dezentralen Ölmühlen im Jahr 2003 etwa 10 % der deutschen Rapsernte verarbeitet wurde.

Verarbeitungskapazitäten von bis zu 50 kg Saat pro Stunde wiesen 41 % der befragten Ölmühlen auf. Ölgewinnungsanlagen mit Durchsatzraten zwischen 50 kg und 500 kg Saat pro Stunde machten zusammen rund 43 % der Anlagen aus. Die Verarbeitung von über 500 kg Saat pro Stunde war in 16 % der Betriebe möglich.

Rund 13 % der Ölgewinnungsanlagen nutzten ausschließlich Ölsaaten aus dem eigenen landwirtschaftlichen Betrieb. Saat aus der Region in einem Umkreis von bis zu 25 km wurde von 55 %, in einem Umkreis von bis zu 50 km von 20 % der Befragten verarbeitet. Das produzierte Öl wurde von rund 11 % der Ölmühlenbetreiber ausschließlich selbst verwertet. Ein Viertel der Befragten lieferte das Öl bis zu 25 km und ein weiteres Viertel bis zu 50 km im Umkreis ihrer Ölmühle aus. Lieferungen zu weiter entfernten Abnehmern wurden von 36 % der Ölproduzenten durchgeführt. Den gewonnenen Presskuchen verwendeten etwa 11 % der Befragten ausschließlich in ihrem eigenen Betrieb, 54 % vermarkteten Presskuchen in einem Umkreis von bis zu 25 km, weitere 16 % in einem Umkreis bis zu 50 km. Neben der unmittelbaren Verwendung als Tierfutter, wird Presskuchen auch an die Futtermittelindustrie verkauft. In seltenen Fällen wird Presskuchen in Biogasanlagen eingesetzt.

Als Produktionsschwerpunkt gaben 49 % der Betriebe die Herstellung von Rapsölkraftstoff an, gefolgt von den Produkten Speiseöl (20 %) und Futteröl (17 %). Weitere Erzeugnisse, wie technische Öle oder Rapsöl als Rohstoff für die Biodieselproduktion wurden zu 14 % als Schwerpunkt der Produktion angeführt. In einigen Betrieben wurde als wichtigstes Produkt nicht Öl sondern Presskuchen für die Fütterung hergestellt. Als Rohstoff für die Biodieselproduktion wurden 58 % des gewonnenen Öls abgesetzt. Weitere Marktsegmente sind Rapsölkraftstoff (22 %), Futteröl (14 %), technische und sonstige Öle (5 %) sowie Speiseöl (1 %).

Zum Stand März 2007 sind rund 577 dezentrale Ölmühlen bekannt. Die Verteilung der Betriebe über die Bundesländer zeigt Tabelle 25. Eine Hochrechnung der Verarbeitungskapazität auf Basis der 2004 erhobenen Anlagengrößen ergibt, dass derzeit in dezentralen Ölmühlen knapp 1.000.000 t Rapssaat zu mehr als 333.000 t Öl verarbeitet werden. Die Gesamtkapazität dezentraler Ölmühlen dürfte jedoch noch höher liegen, da nach Auskunft von Ölpresenherstellern es sich in den Jahren 2005 und 2006 bei 25-30 % der Aufträge um Erweiterungen bestehender Ölmühlen handelte.

Tabelle 25: *Dezentrale Ölmühlen in Deutschland*

Bundesland	Anzahl der Anlagen
Baden-Württemberg	63
Bayern	238
Berlin	-
Brandenburg	19
Bremen	-
Hamburg	1
Hessen	25
Mecklenburg-Vorpommern	13
Niedersachsen	55
Nordrhein-Westfalen	72
Rheinland-Pfalz	38
Saarland	2
Sachsen	18
Sachsen-Anhalt	12
Schleswig-Holstein	7
Thüringen	14
Summe	577

Waren vor wenigen Jahren noch hauptsächlich Landwirte und landwirtschaftliche Genossenschaften Betreiber dezentraler Ölmühlen so interessieren sich zwischenzeitlich immer mehr Spediture

sowie andere landwirtschaftsferne Branchen für die Ölsaatenverarbeitung in Kleinanlagen. Nach wie vor liegen jedoch für die Landwirtschaft Chancen in der dezentralen Ölsaatenverarbeitung.

Durch die im Energiesteuergesetz festgelegte Verknüpfung der Steuerbegünstigung für Pflanzenöle als Kraftstoff mit der Einhaltung der Anforderungen der DIN V 51605 müssen die Hersteller von Rapsölkraftstoff noch mehr Sorgfalt als bisher auf die Herstellung eines qualitativ hochwertigen Produkts verwenden.

Falls künftig niedrigere Grenzwerte für die Gehalte der Elemente Phosphor, Calcium und Magnesium in der Norm für Rapsölkraftstoff, aufgrund der Anforderungen moderner Abgasnachbehandlungssysteme in pflanzenöлтаuglichen Motoren erforderlich werden, können diese Grenzwerte mit der jetzt praxisüblichen Verfahrenstechnik in dezentralen Ölmühlen nicht mehr eingehalten werden. Deshalb werden derzeit von verschiedenen Anbietern Verfahren für dezentrale Ölmühlen entwickelt und erprobt, die entweder über Entschleimung, einem Verfahrensschritt aus der Raffination, oder über andere Nachbehandlungsverfahren den Gehalt dieser unerwünschten Fettbegleitstoffe reduzieren sollen.

Immer häufiger wird auch die Optimierung der Rapsölkraftstoffqualität durch den Einsatz von Additiven diskutiert. Das Potenzial einer gezielten Additivierung wurde bisher noch nicht systematisch untersucht. Erfolgreiche Voruntersuchungen zur Verbesserung der Oxidationsstabilität durch den Einsatz von Additiven wurden bereits an der Universität Rostock durchgeführt.

Große Verunsicherung bei den Herstellern und Nutzern von Rapsölkraftstoff wurde durch wiederholte Berichterstattung im Fernsehen und in Printmedien über die angeblich um ein vielfaches höhere Mutagenität der Emissionen von Rapsölkraftstoff im Vergleich zu Emissionen von Dieselmotoren hervorgerufen. Zu dieser Thematik sind kurzfristig ergänzende Untersuchungen erforderlich, um gegebenenfalls Ursachenforschung zu betreiben oder den Verdacht zu widerlegen.

Rapsölkraftstoff wird nach wie vor in der Landwirtschaft, aber auch zunehmend von Speditionen nachgefragt. Neben sogenanntem kaltgepresstem Rapsöl aus dezentralen Anlagen wird immer mehr Rapsölvollraffinat aus industriellen Ölmühlen als Kraftstoff eingesetzt. Von einzelnen Unternehmen der Landmaschinenindustrie, aber auch der zuliefernden Motorenindustrie wird an der Entwicklung pflanzenöлтаuglicher Motoren gearbeitet. Einige Nutzfahrzeughersteller empfehlen zwischenzeitlich für die Adaption der Seriendieselmotoren an den Pflanzenölbetrieb bestimmte Umrüsterfirmen, so dass unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen, die Garantie und Gewährleistung für das Neufahrzeug nicht mehr erlischt.

Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war es, einen Beitrag zur Verbesserung der Marktversorgung mit einer gleichbleibenden hohen Qualität von Rapsölkraftstoff gemäß der Vornorm DIN V 51605 zu leisten. Hierzu war es erforderlich, zum einen Qualitäten von Rapsölkraftstoff am Markt zu erfassen, zum anderen technologische Untersuchungen zum Einfluss der Rapssaat, der Ölgewinnung, Ölsäurereinigung sowie der Öllagerung auf die Rapsölkraftstoffqualität durchzuführen.

Im Zeitraum von 1½ Jahren wurden von 22 dezentralen Ölmühlen, von denen ein Großteil im Rahmen des sogenannten „100-Traktoren-Demonstrationsvorhabens“ bereits als Kraftstofflieferanten auftraten, siebenmal Rapsölkraftstoffproben analysiert. Ein Teil dieser Ölmühlen wurde auch bereits in der Projektphase I „Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis“ dieses Vorhabens beprobt. Die Ölqualität wurde gemäß den Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 für Rapsölkraftstoff beurteilt. Die Abpressgrade, die in diesen Ölmühlen erzielt wurden, waren bei einzelnen Ölmühlen stark schwankend, bei anderen wiederum auf konstant hohem Niveau. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Ölgehalte im Presskuchen. Anhand der Ölgehalte im Presskuchen lässt sich tendenziell der Abpressgrad der Ölpresen überwachen. In der Regel wurden von den Ölmühlen Rapssaaten mit hohen Ölgehalten verarbeitet. Die Säurezahl der verarbeiteten Rapssaaten variiert zum Teil deutlich und Unterschiede zwischen den Erntejahren sind erkennbar. Hingegen unterliegt der Wassergehalt der Rapssaat keinen jahreszeitlichen Schwankungen. Die für eine Lagerung und Verarbeitung der Rapssaat in dezentralen Anlagen günstigen Wassergehalte zwischen 7 und 8 Masse-% werden in der Regel eingehalten. Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass nach wie vor die häufigsten Grenzwertverletzungen bei der Kenngröße Gesamtverschmutzung auftreten. Hingegen konnte der Grenzwert für die Säurezahl von den meisten Ölmühlen problemlos eingehalten werden. Grenzwertverletzungen beim Phosphorgehalt traten nur bei drei Ölmühlen auf, beim Summengehalt an Calcium und Magnesium bei acht Ölmühlen. Ein Zusammenhang zwischen der Saatqualität und den Elementgehalten im Rapsöl scheint gegeben zu sein. Die Schwefelgehalte im Rapsöl liegen meist unterhalb der Nachweisgrenze des Prüfverfahrens. Bei unsachgemäßer Lagerung der Rapssaat besteht jedoch die Gefahr des Glucosinolat-Abbaus, der zu erhöhten Schwefelgehalten im Öl führen kann. Die Anforderungen an die Oxidationsstabilität wurden von den meisten Ölproben erfüllt. Restölmengen im Tank wiesen aber häufig eine unzureichende Oxidationsstabilität auf. Überschreitungen des Grenzwerts für den Wassergehalt waren selten zu verzeichnen. Zwei Ölmühlen hatten während des gesamten Beprobungszeitraums große Probleme normgerechten Rapsölkraftstoff zu produzieren.

39 dezentrale Ölmühlen nahmen das Angebot wahr, an einer freiwilligen Qualitätskontrolle durch unangekündigte sechsmalige Beprobung in einem Zeitraum von 1½ Jahren teilzunehmen. Adressen von Ölmühlen, die qualitativ hochwertigen Rapsölkraftstoff produzierten, wurden im Untersuchungszeitraum zu vier Terminen veröffentlicht. Vier Ölmühlen hielten bei jeder der sechs Beprobungen alle Anforderungen der untersuchten Parameter ein. Weitere zwölf Ölmühlen hatten bei den sechs Beprobungen nur einmal die Anforderungen eines Parameters verfehlt. Über den Untersuchungszeitraum konnte bei vielen Ölmühlen eine deutliche Verbesserung der Kraftstoffqualität festgestellt werden. Beispielsweise konnten bei den letzten beiden Beprobungen alle beprobten Ölmühlen den Grenzwert für die Gesamtverschmutzung von 24 mg/kg einhalten, die

meisten unterschritten sogar den anzustrebenden Limitwert bei der Produktion LWP in Höhe von 16 mg/kg. Mit der regelmäßigen Beprobung wurde eine Sensibilisierung der Ölmühlenbetreiber hinsichtlich einer qualitätsorientierten Produktion erreicht.

Durch Versuche zur Ölgewinnung im Technikumsmaßstab wurden Zusammenhänge zwischen Rapsorte (Winterraps, Sommerraps und High-Oleic-Sommerraps) und Rapssaatqualität (Besatz, Auswuchs, unreife Saat und geschälte Saat sowie Einfluss der Saattrocknungstemperatur) auf Kennwerte von Rapsölkraftstoff aufgezeigt.

Winterrapsorten unterscheiden sich in ihrem Einfluss auf die Qualität von Rapsölkraftstoff nicht, 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-Sommerrapsorten können deshalb bezüglich der Oxidationsstabilität des Öls Vorteile aufweisen. 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 können innerhalb einer Sorte zwischen den Erntejahren deutlich variieren. An Rapsorten zur Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen 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.

Sowohl die Säurezahl als auch die Oxidationsstabilität sowie die Elementgehalte im Rapsöl werden durch Besatz in der Rapssaat ungünstig beeinflusst. Die in den Untersuchungen festgestellten Änderungen sind zwar gering, können jedoch unter Umständen, zum Beispiel bei der Verarbeitung vorgeschädigter Saat, zu Grenzwertüberschreitungen führen.

Sehr große Auswirkungen auf die Qualität des Rapsöls hat der Reifegrad der Saat. Sowohl die Säurezahl und die Oxidationsstabilität als auch die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium werden mit zunehmender Ausreifung der Saat günstig beeinflusst. Der richtige Erntezeitpunkt der Saat ist für eine erfolgreiche Rapsölkraftstoffproduktion in dezentralen Anlagen eine der wesentlichen Voraussetzungen. Durch spätere Erntetermine lassen sich zudem Ertragsverluste verringern.

Auswuchs in der Rapssaat wirkt sich bei der Verarbeitung in dezentralen Ölgewinnungsanlagen auf die Parameter Säurezahl, Oxidationsstabilität und Elementgehalte im Rapsöl negativ aus. Der Einfluss auf die Säurezahl und die Elementgehalte ist groß, auf die Oxidationsstabilität hingegen gering.

Versuchsvarianten mit Anteilen geschälter Saat schnitten gegenüber der nicht geschälten Variante bei kraftstoffspezifischen Parametern tendenziell schlechter ab. Die Säurezahl und die Elementgehalte in Rapsöl werden jedoch mit steigendem Anteil geschälter Saat günstig beeinflusst. Diese in sich widersprüchlichen Ergebnisse sind bisher nicht erklärbar. Auf die Oxidationsstabilität des Rapsöls nimmt die Schälung der Saat keinen Einfluss. Soll geschälte Saat verarbeitet werden, so sollte die Schälung unmittelbar vor der Verarbeitung erfolgen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zur Saattrocknung wurden weder die Säurezahl, die Oxidationsstabilität, der Phosphorgehalt noch der Summehalt an Calcium und Magnesium durch Temperaturen der Trocknungsluft von 40 °C und 80 °C negativ beeinflusst. Tendenziell wurden mit steigender Temperatur sogar geringfügig günstigere Eigenschaften im Öl erzielt.

Mit Versuchen an zwei Seiherstab-Schneckenpressen mit vergleichsweise hoher Saatverarbeitungskapazität in Praxisanlagen, konnten in der Literatur beschriebene Einflüsse der Schnecken-drehzahl bei der Ölpressung auf die Rapsöleigenschaften, die an einer Lochseiher-Schneckenpresse mit geringer Verarbeitungskapazität festgestellt wurden, nachvollzogen werden. Durch die Wahl der Schneckendrehzahl bei der Ölpressung kann sowohl bei Lochseiher- als auch bei Seiherstab-Schneckenpressen der Elementgehalt in Rapsölkraftstoff beeinflusst werden.

In den Untersuchungen zur Eignung von verschiedenen Filtern als Endfilter zum Einsatz in dezentralen Ölmühlen zur Herstellung von Rapsölkraftstoff wurden mit dem Tiefenfiltermodul SUPRADisc SD K300 des Herstellers Pall SeitzSchenk die besten Ergebnisse erzielt. Bewertet wurden die Endfilter hinsichtlich der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im gefilterten Rapsöl. Auch die Tiefenfiltermodule SUPRADisc SD K700 und SUPRADisc SDT II T500 haben ihre Eignung unter Beweis gestellt. Gute Ergebnisse wurden auch mit dem Beutelfilter Typ 2-AXL-1 µm des Herstellers Filtertechnik Jäger erzielt. Von den untersuchten Kerzenfiltern wurde mit dem Typ GP 0,45-10U-X4N des Herstellers Amafilter die geringste Gesamtverschmutzung im Rapsöl erzielt. Auch die Kerzenfilter EP 001-10-U-X4N und ES 001-0-U-X0 des Herstellers Amafilter zeigten ein sehr gutes Rückhaltevermögen. Das Schmutzaufnahmevermögen aller drei Kerzenfilter ist jedoch als eher gering einzustufen, so dass diese Kerzenfilter aus ökonomischen Überlegungen nur in Ölmühlen mit gut funktionierender Hauptreinigung eingesetzt werden sollten. 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. Da das Filtrationsergebnis und vor allem die Standzeiten der Filter sehr stark abhängig sind von der Gesamtverschmutzung und der Partikelgrößenverteilung im zu filternden Truböl sowie von der Betriebsweise der Filter, können die Ergebnisse in Praxisanlagen von den im Versuch erzielten Ergebnissen abweichen.

Um die Einhaltung des Kennwerts Gesamtverschmutzung schnell und kostengünstig vor Ort überprüfen zu können, ist ein Schnelltest für die Praxis notwendig. Zur raschen Beurteilung der Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoff wurden an der Universität Rostock zwei Lösungsansätze „Methode auf Basis des Durchdringungswiderstandes“ und „Methode auf Basis Streulichtmessung“ getestet sowie die Schnelltestmethode des Technologie- und Förderzentrums zur optischen Beurteilung des Filtrerrückstands weiterentwickelt.

Zur Beurteilung der Lagerfähigkeit von Rapsölkraftstoff wurde ein Lagerungsversuch mit 108 Varianten angelegt und über einen Zeitraum von 18 Monaten ausgewertet. Rapsölkraftstoff aus Winterraps, aus Winterraps mit Zusatz des Vergällungsmittels RME, aus High-Oleic-Sommerraps oder aus einer Mischung von Ölen aus Winterraps und High-Oleic-Sommerraps sind unter optimalen Lagerungsbedingungen zumindest bis zu einem Jahr lagerstabil. Unter schlechten Lagerungsbedingungen kann die Qualität eines Rapsölkraftstoffs bereits nach drei Monaten Lagerung

so beeinträchtigt sein, dass die Grenzwerte der Vornorm DIN V 51605 nicht mehr eingehalten werden. Hinsichtlich der Oxidationsstabilität bringen Rapsölkraftstoff aus High-Oleic-Sommerraps oder mit Anteilen von Ölen aus High-Oleic-Sommerraps für eine längerfristige Lagerung günstige Voraussetzungen mit. Auch Rapsölkraftstoff aus Winterraps vergällt mit RME, hat, vermutlich aufgrund des Anteils an Antioxidantien im RME, günstigere Lagereigenschaften hinsichtlich der Oxidationsstabilität als ein nicht vergällter Kraftstoff.

Temperatur und (Sonnen-)Einstrahlung nehmen großen Einfluss auf die Lagerstabilität von Rapsölkraftstoff. Deshalb ist eine Lagerung bei konstant niedrigen Temperaturen und unter Lichtabschluss, zum Beispiel in einem Erdtank, empfehlenswert.

Als Material für Lagertanks sind sowohl Edelstahl, Stahl als auch bedingt High-Density-Polyethylen (HDPE) geeignet. Nachteilig erweist sich HDPE, wie auch andere lichtdurchscheinende Materialien, wenn die Lagertanks der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Bei der baulichen Ausführung der Tanks ist darauf zu achten, dass das Eindringen von Wasser unterbunden wird. Die Kontaktfläche des Kraftstoffs mit dem Luftüberstand sollte möglichst gering sein. Unter dem Aspekt der Minimierung von Oxidationsvorgängen können stehende gegenüber liegenden Tanks vorteilhaft sein. Außerdem ist darauf zu achten, dass Rapsöl bei der Lagerung nicht mit katalytisch wirksamen Metallen, wie zum Beispiel Kupfer oder kupferhaltigen Legierungen, in Berührung kommt.

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.

Die umfangreichen Ergebnisse aus den verfahrenstechnischen Untersuchungen wurden in einer kurzgefassten Handreichung „Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen (02/2007)“ zusammengestellt, um den Produzenten von Rapsölkraftstoff eine Hilfestellung zur Verbesserung der Qualität zu geben.

Im Vorhaben wurde eine Vorlage für ein einzelbetriebliches Qualitätsmanagement für die Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölmühlen erstellt. Auf Basis der Software Microsoft® Office Excel wurden auf Formularblättern Maßnahmen zum Erreichen der erforderlichen Produktqualität für Rapsölkraftstoff nach der Vornorm DIN V 51605 zusammengestellt. Außerdem wurden Formulare zur Dokumentation der Verfahrensschritte vorgeschlagen. Für Ölmühlentreiber besteht die Möglichkeit anhand dieser 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 unter <http://www.tfz.bayern.de> heruntergeladen werden.

Quellenverzeichnis

- [1] AIGNER, A. (2004): Versuchsergebnisse aus Bayern 2004, Landessortenversuche Winter-raps. (Hrsg.): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Freising: LfL, 11 Seiten
- [2] AIGNER, A. (2004): Versuchsergebnisse aus Bayern 2004, Landessortenversuche Sommer-raps. (Hrsg.): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Freising: LfL, 33 Seiten
- [3] ANONYMUS (2006): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz – BioKraftQuG) vom 18. Dezember 2006, Bundesgesetzblatt (BGBl), Teil I, Nr. 62, S. 3180
- [4] ATTENBERGER, A.; MATTHÄUS, B.; BRÜHL, L.; REMMELE, E. (2005): Untersuchungen von Einflussfaktoren auf die Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards. Berichte aus dem TFZ, Nr. 5. Abschlussbericht für den Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI) AiF-Projekt Nummer 13430 N, Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 120 Seiten
- [5] BOCKISCH, M. (1993): Nahrungsfette und -öle. Stuttgart: Eugen Ulmer, 694 Seiten
- [6] BONDIOLI, P.; FRÖHLICH, A.; FISCHER, J. (2003): Storage tests. In: BLT – BUNDESANSTALT FÜR LANDTECHNIK (Hrsg.): Stability of biodiesel – used as a fuel for diesel engines and heating systems. Presentation of the biostab project results. Proceedings. Wieselburg, S. 18-25
- [7] BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; LANZANI, A. et al. (1995): Storage stability of biodiesel. In: Journal of the American Oil Chemists` Society, Vol. 72, Nr. 6, S. 699-702
- [8] BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; DELLA BELLA, L.; TAGLIABUE, S. (2002): Evaluation of biodiesel storage stability using reference methods. Fett/Lipid, Jg. 104, S. 777-784
- [9] BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; DELLA BELLA, L. et al. (2003): Biodiesel stability under commercial storage conditions over one year. Fett/Lipid, Jg. 105, S. 735-741
- [10] BONDIOLI, P.; GASPAROLI, A.; DELLA BELLA, L. et al. (2004): The prediction of biodiesel storage stability. Proposal for a quick test. Fett/Lipid, Jg. 106, S. 822-830
- [11] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FETTWEISSENSCHAFT E.V. (2004): Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen, Band 1, 2. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
- [12] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2004): E DIN EN ISO 4259: Mineralölerzeugnisse – Bestimmung und Anwendung für die Präzision von Prüfverfahren (ISO/DIS 4259:2004). Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [13] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. (2006): (Vornorm) DIN V 51605. Kraftstoffe für pflanzenölaugliche Motoren - Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [14] DIETL, G. (2004): Einfluss der Rapsorte und der Rapssaatqualität auf Eigenschaften von Rapsölkraftstoff. Diplomarbeit. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landtechnik, 81 Seiten
- [15] EIMER, M. (1998): Konservierung und Lagerung von Raps. In: Raps, Jg. 16, Nr. 3, S. 118-121

- [16] FALK, O.; MEYER-PITTRÖFF, R. (2004): The effect of fatty acid composition on biodiesel oxidative stability. *Fett/Lipid*, Jg. 106, S. 837-843
- [17] FEIFFER, A. (2007): Raps erst nach dem Weizen dreschen? *Raps*, Jg. 25, Nr. 2, S. 86-88
- [18] FRÖHLICH, A. (1999): Storage stability of fuel grade camelina, sunflower and rapeseed methyl esters. Dublin: Crops Research Centre, 17 Seiten
- [19] GRAF, T.; REINHOLD, G. (2003): Möglichkeiten der Bereitstellung von Rapsölkraftstoff aus dezentralen Anlagen. In: TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (Hrsg.): Rapsölkraftstoff in Traktoren und Blockheizkraftwerken: Tagungsband zum Internationalen Expertenforum, 25. bis 26. Februar 2002 in Straubing. Aachen: Shaker, S. 41-50
- [20] GROPP, A. (2004): Prüfung der Eignung von Sicherheitsfiltern für dezentrale Ölgewinnungsanlagen. Diplomarbeit. Freising: Technische Universität München, Lehrstuhl für Landtechnik, 100 Seiten
- [21] GROß, K.-J. (2002): Auswuchsrap 2002 – Konsequenzen für die Ölqualität. *Raps*, Jg. 20, Nr. 4, S. 201
- [22] HASSEL, E.; PRESCHER, K. et al. (2006): Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöltauglichen Traktoren. Forschungsbericht FNR-FKZ 00NR200. Rostock: Universität Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren, 222 Seiten
- [23] HUMPISCH, G. (2002): Gesunderhaltung von Rapssaat. *Raps*, Jg. 20, Nr. 3, S. 154-156
- [24] HUMPISCH, G. (2003): Getreide lagern – Belüften und Trocknen. Bergen/Dumme: Agrimedia GmbH, 124 Seiten
- [25] JANSEN, H. D.; STEFFEN, M. C. (1990): Ölgewinnung in kleinen und mittleren Anlagen durch Pressung und Extraktion. In: BUNDESAMT FÜR ERNÄHRUNG UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): Pflanzliche Öle im chemisch-technischen Sektor – Tagungsband zum Expertenkolloquium am 12.-13. November 1990 im Wissenschaftszentrum Bonn und Dokumentation der Forschungsvorhaben. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 115-126
- [26] KOLLMANN, I. (1991): Lagerverluste und Qualitätsveränderungen bei Ölraps. *Raps*, Jg. 9, Nr. 2, S. 92-95
- [27] KOZŁOWSKA, H.; NOWAK, H.; ZADERNOWSKI, R. (1988): Rapeseed Hulls Fat Characteristic. *Fat Science Technology*, Jg. 90, Nr. 6, S. 216-222
- [28] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUSWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (2005): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – KTBL-Schrift, Nr. 427. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, 164 Seiten
- [29] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUSWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (1999): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung – KTBL-Arbeitspapier, Nr. 267. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, 129 Seiten
- [30] LACOSTE, F.; LAGARDERE, L. (2003): Quality parameters evolution during biodiesel oxidation using rancimat test. *Fett/Lipid*, Jg. 105, S. 149-155
- [31] MATTHÄUS, B.; FIEBIG, H.-J.; VOSMANN, K.; BRÜHL, L. (2002): Kaltgepresstes Rapsöl. *Raps*, Jg. 20, Nr. 4, S. 198-200
- [32] MAURER, K. (1991): Pflanzenölgewinnung und -verwertung in landwirtschaftlichen Betrieben als Treibstoff. *Landtechnik*, Jg. 46, Nr. 12, S. 604-608

- [33] MEIER, U. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen - BBCH Monografie. 2. Auflage. Berlin und Braunschweig: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 165 Seiten, <http://www.bba.de/>
- [34] MITTELBACH, M.; GANGL, S. (2001): Long storage stability of biodiesel made from rapeseed and used frying oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Jg. 78, Nr. 6, S. 573-577
- [35] NIEWIADOMSKI, H. (1990): Rapeseed – chemistry and technology. *Developments in Food Science*, Nr. 23. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 433 Seiten, ISBN 0-444-98799-1
- [36] PAETKAU, T. F.; LAPP, H. M. (1973): Heat and moisture are critical to rapeseed storage. *Journal of Flour and Animal Feed Milling*, Jg. 155, Nr. 10, S. 38
- [37] PLESSIS DU L. M.; VILLIERS, F. B. M. DE; VALT, W. H. VAN DER (1995) : Stability studies on methyl and ethyl fatty acid esters of sunflowerseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 62, Nr. 4, S. 748-752
- [38] RASEHORN, H. J.; DEICKE, H. D.; BOTSCHKA, R. (2001): Umweltfreundliche Rapssaatenverarbeitung - Entwicklung, Bau, und Erprobung von Technologien und Ausrüstungen zur abproduktarmen Herstellung von Ölen. Forschungsbericht 01RP9708/01. Magdeburg: Cimbria Sket, 37 Seiten
- [39] REMMELE, E.; THUNEKE, K.; WIDMANN, B. A.; WILHARM, T.; SCHÖN, H. (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
- [40] 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
- [41] 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
- [42] REMMELE, E.; STOTZ, K. (2003): Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 1, Abschlussbericht für Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., FKZ 22004900, Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 115 Seiten
- [43] REMMELE, E. (2005): Anlagentechnik der Reinigung und Lagerung. In: *KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT* (Hrsg.): *Dezentrale Ölsaatenverarbeitung*, 1, Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 37-50
- [44] REMMELE, E.; STOTZ, K. (2005): Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen (08/2005), Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 15 Seiten
- [45] SCHEFFER, K.; SCHWERIN, C. VON (1999): Rapsanbau mit optimierter Energiebilanz durch ein neues Ernte- und Verarbeitungsverfahren. In: *OTTI-TECHNOLOGIE-KOLLEG* (Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V.) – *Anwenderforum Energetische Nutzung von Pflanzenöl und Biogas*. Symposium vom 24. November 1999 in Kloster Banz, S. 6-15
- [46] SCHOBER, S.; MITTELBACH, M. (2004): The impact of antioxidants on biodiesel oxidation stability. *Fett/Lipid*, Jg. 106, S. 382-389

- [47] SCHÜMANN, U. (2003): Rapsöl als Kraftstoff für Dieselmotoren: Rapsölqualität, -lagerung und -versorgung. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (Hrsg.) Das „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ des BMVEL. Vortragsskript zum Statusseminar am 31.03.2003 in Berlin. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- [48] SCHÜMANN, U. (2005): Aspekte der Rapsölqualität, -lagerung und -versorgung. Vortragsfolien. Das „100-Traktoren-Demonstrationsprojekt“ des BMELV Abschlussveranstaltung am 9. November 2005 im Rahmen der Agritechnica 2005 in Hannover.
URL: <http://www.fnr.de/100traktoren2005>
- [49] SIMKOVSKY, N.; ECKER, A. (1998): Einfluss von Licht und Tocopherolgehalt auf die Oxidationsstabilität von Fettsäuremethylestern. *Fett/Lipid*, Jg. 100, S. 543-538
- [50] SKRIEGAN, E. (1989): Kaltlagerung von Körnerraps. *Raps*, Jg. 7, Nr. 2, S. 78-87
- [51] STOTZ, K.; REMMELE, E. (2005): Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland. *Berichte aus dem TFZ*, Nr. 3, Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 53 Seiten
- [52] THOMPSON, J. C.; PETERSON, C. L.; REECE, D. L.; BECK, S. M. (1998): Two-year storage study with methyl and ethyl esters of rapeseed. *Transactions of the ASAE*, Jg. 41, Nr. 4, S. 931-939
- [53] WIDMANN, B. A. (1990): Fundamental Research to Develop a Standard for Fuel Quality and Rape Seed Oils and Esters. In: GRASSI, G.; GROSSE, G.; DOS SANTOS, G. (Hrsg.): *Biomass for Energy and Industry – 5th E.C. Conference 1989 in Lisbon, Portugal*. Essex, England: Elsevier Science Publishers Ltd., S. 1651-1655
- [54] WIDMANN, B. A.; APFELBECK, R.; GESSNER, B. H.; PONTIUS, P. (1992): Verwendung von Rapsöl zu Motortreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht. „Gelbes Heft“, Nr. 40 (Gesamtbericht). München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 650 Seiten
- [55] WIDMANN, B. A. (1994): Gewinnung und Reinigung von Pflanzenölen in dezentralen Anlagen – Einflussfaktoren auf die Produktqualität und den Produktionsprozess. „Gelbes Heft“ Nr. 51. München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 310 Seiten
- [56] 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
- [57] 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, T.; PALZ, W.; CHARTIER, P.; FERRERO, G.L. (Hrsg.): *Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the International Conference Würzburg, Germany*, 8. - 11. Juni 1998. Rimpar: C.A.R.M.E.N. e.V., S. 124-127
- [58] WIDMANN, B. A.; STELZER, T.; REMMELE, E.; KALTSCHMITT, M. (2001): Produktion und Nutzung von Pflanzenölkraftstoffen. In: KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. (Hrsg.): *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren*. Berlin. Springer-Verlag, S. 537-583

- [59] WILHARM, T. (2005): Qualitätskriterien von Rapsöl-Kraftstoffen. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung, Münster: Landwirtschaftsverlag, S. 113-121

Anhang

Beschreibung der Ölmühlen

Code: 01
Inbetriebnahme: Januar 00

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	400 m ³	nein	Sommer 20 °C Winter 5 °C	7%

Lagerkapazität gesamt: 400 m³

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Strähle SK 130/3	130 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
 Typ: KFP 630/30 (7 m²)

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: AP-1-P-1-S

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	7 m ³	Stahl
Tank 2:	10 m ³	Edelstahl
Tank 3:	10 m ³	10 IBCs

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	100 m ³	nein	4-6 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

5 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

keine Angabe

Distribution:

Öl: IBC (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: Eigenverwendung

Bemerkungen:

Beprobung 1: Ölmühle wegen sehr tiefer Temperaturen nicht in Betrieb
 Beprobung 5: Saattemperatur 0 °C

Code:	02			
Inbetriebnahme:	November 03			
Saatlager:				
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	200 t	ja	Sommer 15 °C Winter 7 °C	6-8 %
Hochlager:	110 t	ja	Sommer 15 °C Winter 7 °C	6-8 %
Lagerkapazität gesamt:	310 t			
Presstechnik:				
Anzahl der Pressen:	2 Hersteller und Typ:		Nennleistung:	
Presse 1:	Strähle SK 60/1		12-15 kg/h	
Presse 2:	Strähle SK 130/3		130 kg/h	
Ölreinigungstechnik:				
Hersteller:	Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH			
Typ:	KFP 630/18			
Sicherheitsfilter:				
Hersteller Kerzenfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH			
Typ:	1 µm			
Öllagerung:				
	Volumen:	Material:		
Tank 1:	2 x 0,3 m ³	Edelstahl		
Tank 2:	2 x 0,2 m ³	Edelstahl		
Tank 3:	5 x 1 m ³	PE-IBC		
Tank 4:	10 m ³	Edelstahl		
Presskuchenlagerung:				
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:	
Halle	beliebig	nein	2 Wochen	
Häufigkeit der Ölanalysen:				6 x pro Jahr
Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:				ja
Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:				nein
Distribution:				
Öl:	IBC (Lieferung und Abholung)			
Presskuchen:	lose, Big Bags (Lieferung und Abholung)			
Bemerkungen:				
Beprobung 1: Ölreinigung mittels Sedimentation (Eigenbau) und Kerzenfilter AMA 1 µm nach Betreiberangaben "noch nicht ausgereift"				
ab Beprobung 2: Volumen der Sedimentationsbehälter um 1000 l erhöht				
ab Beprobung Nr. 6: SK 130 in Betrieb, SK 60/1 nur noch zur Speiseölherstellung				
ab Beprobung Nr. 7: Kammerfilterpresse und 10 m ³ Lagertank in Betrieb, Sedimentation aufgegeben bzw. nur noch Speiseöl wird über Sedimentation gereinigt				

Code:	03			
Inbetriebnahme:	Mai 05			
Saatlager:				
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	500 t	ja	Sommer 20 °C im Winter nicht benutzt	9%
Hochlager:	160 t	nein	Sommer 20 °C Winter 5 °C	9%
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	660 t			
Presstechnik:				
Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:	
Presse 1:		Reinartz AP 14/30	500 kg/h	
Presse 2:				
Ölreinigungstechnik:				
Hersteller:	LFC Lochem BV, Niederlande			
Typ:	MVDCD 900/920/12,5/11 Druck-Plattenfilter			
Sicherheitsfilter:				
Hersteller Beutelfilter:	LFC Lochem BV, Niederlande			
Typ:	SE 2 (25 µm)			
Hersteller Kerzenfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH			
Typ:	CE 001 - 20A			
Öllagerung:				
	Volumen:	Material:		
Tank 1:	2 x 100 m ³	Edelstahl		
Tank 2:	5 x 1 m ³	PE-IBC		
Presskuchenlagerung:				
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:	
Halle	100 m ³	nein	3 Wochen	
Häufigkeit der Ölanalysen:				monatlich
Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:				ja
Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:				keine Angabe
Distribution:				
Öl:	lose (Lieferung)			
Presskuchen:	lose, Big Bag (Lieferung und Abholung)			
Bemerkungen:				

Code: 04
Inbetriebnahme: April 95

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:				
Hochlager:	800 t	ja	Sommer 16 °C Winter 6 °C	< 9 %
sonstige Lager:	300 t	-		< 9 %
Lagerkapazität gesamt:	1100 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 14/30	500 kg/h
Presse 2:		Reinartz AP 14/22	300 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: Niagara Vertikaldruckplattenfilter

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH
Typ:	AF 1 / 180 / Z
Hersteller Kerzenfilter:	Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
Typ:	AP 5 P 25
Hersteller Modulfilter:	Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
Typ:	VelaDisc 700er Schicht, P284/02G88DN40/SD300

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	17 m ³	Edelstahl
Tank 2:	70 m ³	Edelstahl
Tank 3:	6 m ³	Edelstahl

Presskuchenlagerung:

Boxen	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
	80 t	ja	max. 6 Wochen
		-	-

Häufigkeit der Ölanalysen:

10-12 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

nein

Distribution:

Öl: eigener Tankwagen/Tankstelle/IBC (Lieferung und Abholung)
Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: aus Zapfanlage zu wenig Öl, deswegen Porbenahme aus Reinöltank
 Beprobung 7: Elevatorschaden, deswegen keine Pressung, Ölprobe wurde zu späterem Zeitpunkt vom Betreiber selbst entnommen und versandt

Code: 05
Inbetriebnahme: 1996

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	3000 t	ja	Sommer 15 °C Winter 5 °C	7%
Hochlager:	600 t	ja	Sommer 15 °C Winter 5 °C	7%
Lagerkapazität gesamt:	3600 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen: 1 Hersteller und Typ: Nennleistung:
 Presse 1: Reinartz AP 14/22 300 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: 610 D - 4,2 Vertikaldruckplattenfilter

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: ohne Angaben
 Hersteller Kerzenfilter: ohne Angaben
 Typ: ohne Angaben
 Hersteller Modulfilter: ohne Angaben
 Typ: ohne Angaben

Öllagerung:

Tank 1: Volumen: 150 m³ Material: Laminat, evtl Polyester, aus Milchwerk bezogen

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Boxen	300 m ³	nein	1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen:

monatlich

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

über 1 Jahr

Distribution:

Öl: eigener Tankwagen/Tankstelle/IBC (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 2: Ölpresse nicht in Betrieb, Ölprobe wurde vom Betreiberselbst entnommen und versandt
 Beprobung 3: Ölprobe wurde aus dem Tanksumpf entnommen (Tank war "leer")
 Beprobung 4: aus der "Überlaufschutz-Rücklaufleitung" der Zapfpistole wurden immer wieder Partikel in die Probenflasche gespült

Code: 06
Inbetriebnahme: April 02

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	100 m ³	nein	Sommer 15 °C Winter 5 °C	7-9 %
Hochlager:	80 m ³	nein	Sommer 15 °C Winter 5 °C	7-9 %
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	180 m ³			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:	Kernkraft KK 40/2	40 kg/h
Presse 2:	Kernkraft KK 140	140 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Kernkraft Moosbauer und Rieglsperger GbR
 Typ: Kammerfilterpresse KKF 470/10

Sicherheitsfilter:

Hersteller Kerzenfilter: Kernkraft Moosbauer und Rieglsperger GbR
 Typ: k.A.

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	5 m ³	Stahl
Tank 2:	3 x 6 m ³	PE

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Silo	10 m ³	nein	1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapssaat/Rapsöl (je 1 Monat)

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle, IBC (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose, Big Bags (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

KK 140 in Betrieb seit Herbst 2005
 Kammerfilterpresse in Betrieb seit Juli 2005

Code: 07
Inbetriebnahme: Dezember 01

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	200 t	nein	Sommer 20 °C Winter 20 °C	< 9 %
Hochlager:	300 t	nein	Sommer 20 °C Winter 20 °C	< 9 %
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	500 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Strähle SK 130/3	130 kg/h
Presse 2:		Strähle SK 130/3	130 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
 Typ: KFP 470/30

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: AF1/90T/2 GS10P1
 Hersteller Modulfilter: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
 Typ: VelaDisc 700 er Schicht SD II 900

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	30 m³	Edelstahl
Tank 2:	20 m³	Edelstahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Boxen	50 t	nein	2-3 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

nein

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle, IBC (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: Presse II aufgebaut, Problem: sehr hohe Presstemperaturen Presskuchentemp. 83 °C
 Beprobung 5: Presse II Einstellungen optimiert (z.B. Seiherabstand am letzten Korb)
 Beprobung 7: Presse I neue Schnecke und neue Seiherstäbe eingebaut

Code: 08
Inbetriebnahme: Oktober 95

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	2000 t	ja	Umgebungs- temperatur	6 - 7 %
Hochlager:	1000 t	ja	Umgebungs- temperatur	6 - 7 %
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	3000 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 14	300 kg/h
Presse 2:		Keller P 0350	500 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall Seitz Schenk Filtersystems GmbH
 Typ: KFP 470/20 und KFP 470/40

Sicherheitsfilter: keinen

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	2 x 50 m ³	Stahl
Tank 2:	2 x 8 m ³	Stahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	200 t	nein	4 Wochen
Silo		nein	variabel

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Saat: 12 Monate, Presskuchen: 6 Monate

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle, IBC, lose (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 2: Abpressgrad schlechter da vorher Sonnenblumenkerne gepresst
 Beprobung 3: Ölprobe nicht aus dem fließenden Ölstrom entnommen
 => höhere Gesamtverschmutzung?

Code: 09
Inbetriebnahme: Mai 95

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	450 m ³	ja	Sommer 19 °C Winter 14 °C	7 - 8,5 %
Hochlager:	-	-	-	-
sonstige Lager:	950 m ³	ja	Sommer 19 °C Winter 14 °C	7 - 8,5 %
Lagerkapazität gesamt:	1400 m ³			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	3	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Stähle SK 130/3	130 kg
Presse 2:		Reinartz AP 10/06	100 kg
Presse 3:		Reinartz AP 10/06	100 kg

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: Cricket
 zusätzlich diskontinuierliche Sedimentation

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: AP 05 P 2 S

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	15 m ³	Stahl
Tank 2:	30 m ³	Stahl
sonstige Tanks:	100 x 1 m ³	PE-IBC

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Silo	120 m ³	-	0-1 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapssaat 1 Jahr

Distribution:

Öl: eigener Tankwagen (Lieferung und Abholung)
Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

ab Beprobung 4: bei Reinartz-Pressen Austragsöffnung verengt
 Beprobung 6: 0,5 µm Filterbeutel eingebaut

Code: 10
Inbetriebnahme: April 2002

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	3500 t	ja	Sommer > 20 °C Winter 10 °C	7 - 8 %
Hochlager:	1300 t	ja	Sommer > 20 °C Winter 10 °C	7 - 8 %
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	4800 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 15	1000 kg
Presse 2:		Reinartz AP 14	800 kg

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: Vertikaldruckplattenfilter (38,5 m² Fläche)

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: AF 1 (10 µm)
Hersteller Kerzenfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: CW-Kerze

Öllagerung:

Tank 1:	Volumen:	Material:
	2 x 100 m ³	Stahl

Presskuchenlagerung:

Boxen	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
	2 x 70 t	nein	0-1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen: 8 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff: ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer: Rapssaat/Rapsöl/Presskuchen (12 Monate)

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle/Tankwagen (Abholung und Lieferung)
Presskuchen: lose (Abholung und Lieferung)

Bemerkungen:

ab Beprobung 5: zusätzliche neue Presse (AP15)
 ab Beprobung 6: Beutelfilter vor Ölabgabestelle installiert, bei neuer Presse Presswerkzeuge geändert
 Beprobung 7: Ölpresen kurzzeitig wegen "Ölunfall" außer Betrieb, Ölprobe wurde vom Betreiber selbst entnommen und versandt

Code:	11		
Inbetriebnahme:	Februar 96		
Saatlager:			
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur: Saatfeuchte:
Flachlager:	2000 t	ja	Sommer 10 °C Winter 0 °C 8%
Hochlager:	600 t	nein	Sommer 10 °C Winter 10 °C 8%
sonstige Lager:			
Lagerkapazität gesamt:	2600 t		
Presstechnik:			
Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 12	200 kg/h
Presse 2:			
Ölreinigungstechnik:			
Hersteller:	Schenk		
Typ:	Kammerfilterpresse KFP 470/21		
Sicherheitsfilter:			
Hersteller Beutelfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH		
Typ:	AF 1 (10µm)		
Hersteller Kerzenfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH		
Typ:	CW-Kerze		
Öllagerung:			
	Volumen:	Material:	
Tank 1:	24 m ³	Edelstahl	
Tank 2:	15 m ³	Edelstahl	
Presskuchenlagerung:			
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	50 m ³	nein	0 - 1 Wochen
Häufigkeit der Ölanalysen:			4 x pro Jahr
Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:			ja
Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:			keine Angabe
Distribution:			
Öl:	eigene Tankstelle/Tankwagen/lose/IBC (Abholung und Lieferung)		
Presskuchen:	lose/Big Bag (Abholung und Lieferung)		
Bemerkungen:			

Code: 12
Inbetriebnahme: März 2000

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	150 t	nein	Sommer 20 °C Winter 10 °C	7%
Hochlager:				
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	150 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:	bis Beprobung 4:	Strähle SK 60/2	25-30 kg/h
Presse 2:	ab Beprobung 5:	Strähle SK 130/3	130 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall Seitz Schenk Filtersystems GmbH
 Typ: Kammerfilterpresse KFP 470/20

Sicherheitsfilter:

Hersteller Kerzenfilter: Filtertechnik Jäger GmbH
 Typ: 5 Kerzen, 1 µm

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	2 x 5 m ³	PE
Tank 2:	30 x 1 m ³	PE IBC

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	100 m ³	nein	4 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

3 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Saat/Öl/Presskuchen: jew. 2 Monate

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle
 Presskuchen: lose/Big Bag (Abholung und Lieferung)

Bemerkungen:

Beprobung 2: Entnahme der Ölprobe aus dem Reinöltank, da an der regulären Abgabestelle zugekauft Öl abgefüllt wurde

Beprobung 3: auf Raps der Ernte 2005 umgestellt

Beprobung 5: auf neue Pressen- und Filtertechnik umgestellt, wie oben beschrieben, Kammerfilterpresse kann anfallende Ölmenge nicht verarbeiten

Beprobung 6: neue Kerzenfilter von Fa. Jäger, NT 1µm -30

Code: 13
Inbetriebnahme: 2001

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	80 t		Sommer 10 °C Winter 0 °C	6,5%
Hochlager:	wird fremd eingelagert		Sommer 10 °C Winter 10 °C	
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	80 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 14/30	500 kg/h
Presse 2:			

Ölreinigungstechnik:

Hersteller:	Ama Filter Deutschland GmbH
Typ:	Vertikaldruckplattenfilter 36V-140S-36 (12,5 m ²)

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH
Typ:	5 µm

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	2 x 33 m ³	Edelstahl
Tank 2:	2 x 17,5 m ³	Edelstahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Boxen	200 m ³	nein	1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen:

6 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

keine Angabe

Distribution:

Öl:	Tankwagen/IBC (Abholung)
Presskuchen:	lose (Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 1: Holzmehl als Filtermittel im Trüböl
 Beprobung 4: mit Vollraffinatanteil von < 3%
 Beprobung 6: Entnahme der Ölprobe nach Polzeifilter, weil Vollraffinat in Tankanlage
 Beprobung 7: Presse seit ca. einem Monat mit neuen Werkzeugen und Pelletierscheibe

Code:	14		
Inbetriebnahme:	Dezember 95		
Saatlager:			
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur: Saatfeuchte:
Flachlager:	3800 t	ja	Sommer 20 °C Winter 14 °C 7%
Hochlager:	3800 t	ja	Sommer 20 °C Winter 14 °C 7%
sonstige Lager:			
Lagerkapazität gesamt:	8600 t		
Presstechnik:			
Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 14/30	500 kg/h
Presse 2:		Reinartz AP 14/30	500 kg/h
Ölreinigungstechnik:			
Hersteller:	Ama Filter Deutschland GmbH		
Typ:	Vertikaldruckplattenfilter 42V-230M-32		
Sicherheitsfilter:			
Hersteller Beutelfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH		
Typ:	AP 5/22/S 1 5µm		
Hersteller Kerzenfilter:	Ama Filter Deutschland GmbH		
Typ:	36 AFW 4T-3T C 10 AW 40S		
Öllagerung:			
	Volumen:	Material:	
Tank 1:	80 m ³	Stahl	
Tank 2:	2 x 100 m ³	Edelstahl	
Presskuchenlagerung:			
	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	100 m ³	nein	1 Woche
Häufigkeit der Ölanalysen:			6 x pro Jahr
Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:			ja
Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:			keine Angabe
Distribution:			
Öl:	eigene Tankstelle/Tankwagen/IBC (Abholung und Lieferung)		
Presskuchen:	keine Angabe		
Bemerkungen:			

Code: 15
Inbetriebnahme: August 01

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	2500 m ³	nein	Sommer 22 °C Winter 12 °C	7-8 %
Hochlager:	700 m ³	ja	Sommer 19 °C Winter 9 °C	7-8 %
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	3200 m ³			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Strähle SK 130/3	130 kg/h
Presse 2 (Beprobung 3 bis 5):		Kernkraft KK 140	140 kg/h
Presse 2 (ab Beprobung 6):		Strähle SK 130/3	130 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
Typ: KFP 630/30 Kammerfilterpresse
 6 AFW bis Dez. 06 eingesetzt

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: AP 1P1S (1 µm)

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	2 x 40 m ³	Stahl
Tank 2:	2 x 25 m ³	Stahl
sonstige Tanks:	20 m ³	Edelstahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Boxen	150 m ³	nein	bis 3 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

5 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

keine Angabe

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle/IBC (Abholung und Lieferung)
Presskuchen: lose (Abholung und Lieferung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: neue Ölpresse Kernkraft 140 installiert
 Beprobung 4: neue Seiherstäbe in Kernkraft-Ölpresse eingebaut, engerer Abstand, Konus beim Kuchenaustritt flacher
 Beprobung 5: Ölpresse Kernkraft wieder deinstalliert
 Beprobung 6: neue Ölpresse Strähle SK 130, seit 02.06.06 in Betrieb
 Beprobung 7: alte Ölpresse Strähle SK 130: Seiherstäbe, Schnecke, vor ca. 6 Wochen erneuert

Code: 16
Inbetriebnahme: Januar 02

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:				
Hochlager:	160 t	nein	Sommer 15 °C Winter 10 °C	8%
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	160 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 15	900 kg/h
Presse 2:		Reinartz AP 15	900 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: LFC-Lochem
 Typ: MVDCD 1380/38/15

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: LFC-Lochem
 Typ: PEK-5-2 (5 µm)

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	3 x 100 m ³	Stahl
Tank 2:	5 m ³	Edelstahl

sonstige Tanks:

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	250 m ³	nein	1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapssaat/Rapsöl (je 12 Monate)

Distribution:

Öl: eigener Tankwagen/Tankstelle/IBC (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 2: eine halbe Stunde vor Beprobung war Saatzufuhr unterbrochen, Ölpresse abgestellt
 Beprobung 3: Ölprobe wurde aus dem Tanksumpf entnommen
 Beprobung 6: Zapfstelle defekt, Ölprobe wurde aus Container entnommen, der kurz zuvor noch über die Zapfstelle betankt wurde

Code: 17
Inbetriebnahme: Mai 95

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:				
Hochlager:	15 000 m ³	ja	Sommer 18 °C Winter 12 °C	8%
sonstige Lager:				
Lagerkapazität gesamt:	15 000 m ³			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 12	200 kg/h
Presse 2:		Reinartz AP 12	200 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: Vertikaldruckplattenfilter 30V-95S-36

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: AF 1-180-2F 10µm

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	3 x 60 m ³	Stahl
Tank 2:	2 x 40 m ³	GFK

sonstige Tanks:

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	40 m ³	nein	6 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

2 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapssaat/Presskuchen (jew. 6 Monate)

Distribution:

Öl: Tankwagen/Tankstelle (Abholung)
Presskuchen: lose mit Anlieferung

Bemerkungen:

Beprobung 5: Rapssaat hat unterschiedlichen Reifegrad

Code: 18
Inbetriebnahme: Oktober 01

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	3500 m ³	ja	Sommer 20 °C	7%
Hochlager:	2500 m ³	ja	Winter 10 °C	
			Sommer 20 °C	7%
			Winter 10 °C	

sonstige Lager:

Lagerkapazität gesamt: 6000 m³

Presstechnik:

Anzahl der Pressen: 1 Hersteller und Typ: Nennleistung:
 Presse 1: Reinartz AP 14/30 500 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: Cricket Druckkerzenfilter
 zusätzlich kontinuierliche Sedimentation (Eigenbau)

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: 5µm
 Hersteller Modulfilter: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
 Typ: Marksman
 Hersteller Kerzenfilter: LMO
 Typ: LMO 20 U 3/4

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	3 x 80 m ³	Stahl
Tank 2:	56 m ³	Stahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	80 m ³	nein	0-1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen: 4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff: ja
Rückstellmuster/Verwahrungsdauer: Rapssaat /Rapsöl/Rapspresskuchen (je 3 Monate)

Distribution:

Öl: Tankwagen/lose (Abholung und Lieferung)
 Presskuchen: lose (Abholung und Lieferung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: Filter vor Abfüllanlage gewechselt
 Beprobung 6: Zusatzfilter eingebaut, paralell 1x10 µm und 1x1 µm
 Beprobung 7: Ölpresse gereinigt

Code: 19
Inbetriebnahme: August 01

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	-	-	-	-
Hochlager:	-	-	-	-
sonstige Lager:				

Lagerkapazität gesamt: Einlagerung bei Landhandel als Dienstleister

Presstechnik:

Anzahl der Pressen: 1 Hersteller und Typ: Nennleistung:
 Presse 1: Reinartz AP 12 200 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: 34V-110S-36

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: 3µm

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	2 x 30 m ³	Stahl
Tank 2:	1 x 30 m ³	Edelstahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Halle	35 t	nein	1-2 Wochen

Häufigkeit der Ölanalysen:

1 x pro 30 000l - Charge

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff: ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer: Rapssaat /Rapsöl/Rapspresskuchen (je 3 Monate)

Distribution:

Öl: lose (Abholung und Lieferung)
 Presskuchen: lose/Big Bag (Abholung)

Bemerkungen:

Code: 20
Inbetriebnahme: Februar 01

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	200 t	ja	Sommer 20 °C	7%
			Winter 5 °C	

Hochlager:
 sonstige Lager:

Lagerkapazität gesamt: 200 t

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	2	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Strähle SK 130/3	130 kg/h
Presse 2:		Fries P500R	12 - 30 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Pall SeitzSchenk Filtersystems GmbH
 Typ: Kammerfilterpresse Typ 630/30 (30 Platten)

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: AF-1-90T / AP 1P 1-S
 Typ: AFB-180T-2'' / AP 1S2S

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	20 m ³	Kunststoff

sonstige Tanks:

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Container	10 m ³	nein	1 Woche

Häufigkeit der Ölanalysen:

monatlich

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapssaat/Rapsöl (je 1 Monat)

Distribution:

Öl: eigene Tankstelle/Tankwagen (Lieferung und Abholung)
 Presskuchen: lose (Lieferung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: Proben aus Speiseöltank und aus Lagertank (mit Raffinat versetzt) entnommen
 Beprobung 5: Beutelfilter vor Abgabestelle installiert
 Beprobung 6: Beutelfilter statt Kerzenfilter

Code: 21
Inbetriebnahme: April 03

Saatlager:

Flachlager:	Lagerkapazität: 2000 t	Lagerbelüftung: ja	Saattemperatur: Sommer 15 °C Winter 5 °C	Saatfeuchte: 7%
-------------	---------------------------	-----------------------	--	--------------------

Hochlager:
sonstige Lager:

Lagerkapazität gesamt: 2000 t

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	1	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Cimbria Sket KP 12	250 kg/h
Presse 2:			

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
 Typ: Vertikaldruckplattenfilter 24V-53S-36

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter:	Jäger Filtertechnik
Typ:	2-PES-5µ/P
Hersteller Kerzenfilter:	Jäger Filtertechnik
Typ:	NT-1µ-30''

Öllagerung:

Tank 1:	Volumen: 19 m ³	Material: Edelstahl
---------	-------------------------------	------------------------

sonstige Tanks:

Presskuchenlagerung:

Halle	Lagerkapazität: 100 m ³	Lagerbelüftung: nein	Lagerdauer: 2 Wochen
-------	---------------------------------------	-------------------------	-------------------------

Häufigkeit der Ölanalysen:

wöchentlich

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

keine Angabe

Distribution:

Öl:	eigene Tankstelle/IBC/Tankwagen (Lieferung und Abholung)
Presskuchen:	lose (Lieferung)

Bemerkungen:

Beprobung 3: Saat je 50 % alte und neue Ernte

Code: 22
Inbetriebnahme: November 02

Saatlager:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Saattemperatur:	Saatfeuchte:
Flachlager:	10000 t	ja	Sommer 15 °C Winter 15 °C	7,5%
Hochlager:	15000 t	ja	Sommer 15 °C Winter 15 °C	7,5%
Lagerkapazität gesamt:	25000 t			

Presstechnik:

Anzahl der Pressen:	4	Hersteller und Typ:	Nennleistung:
Presse 1:		Reinartz AP 15/37	850 kg/h
Presse 2:		Reinartz AP 15/45	1000 kg/h
Presse 3:		Reinartz AP 15/45	1000 kg/h
Presse 4:		Reinartz AP 15/45	1000 kg/h

Ölreinigungstechnik:

Hersteller: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: Vertikaldruckplattenfilter 42V-230MS-32
Typ: Vertikaldruckplattenfilter 48V-335MS-38

Sicherheitsfilter:

Hersteller Beutelfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: AP 1 S 2 - S
Hersteller Kerzenfilter: Ama Filter Deutschland GmbH
Typ: CW 05 A 40 SC
Hersteller Kerzenfilter: Jäger Filtertechnik
Typ: NT-1µ-400
Hersteller Kerzenfilter: DF² Dialler Filter & Filterlösungen
Typ: DRF 04

Öllagerung:

	Volumen:	Material:
Tank 1:	250 m ³	Stahl

Presskuchenlagerung:

	Lagerkapazität:	Lagerbelüftung:	Lagerdauer:
Boxen	160 m ³	nein	3 Tage
Silo	160 m ³	nein	3 Tage
Container	-	-	-

Häufigkeit der Ölanalysen:

4 x pro Jahr

Beachtung der Vornorm DIN V 51605 bei Herstellung von Rapsölkraftstoff:

ja

Rückstellmuster/Verwahrungsdauer:

Rapsöl	4 Monate
Presskuchen	12 Monate
Rapssaat	18 Monate

Distribution:

Öl: lose/IBC/Tankwagen (Lieferung und Abholung)
Presskuchen: lose/Big Bag (Lieferung und Abholung)

Bemerkungen:

Beprobung 4: 2 Ama Kerzenfilter neu
 Beprobung 5: neuer Filter nach Kerzenfilter, zusätzlich Feinstfilterpatrone Maxi der Fa. Rapstruck

Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen

09/2007

Edgar Remmele
Kathrin Stotz

Straubing, September 2007

Titel: Hinweise zur Erzeugung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen

Autoren: Dr. Edgar Remmele, Kathrin Stotz

Projektleiter: Dr. Edgar Remmele

In Kooperation mit: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dornburg (Torsten Graf, Michael Conrad)
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow (Dr. Wolfgang Schumann)
Universität Rostock – Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren, Rostock (Dr. Ulrike Schümann)
Analytik-Service Gesellschaft mbH, Täferingen (Dr. Thomas Wilharm)

Die Erstellung dieser Handreichung wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 22012903 (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) gefördert.

Die dieser Handreichung zugrundeliegenden Forschungsarbeiten wurden vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten gefördert.

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

Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
Schulgasse 18, 94315 Straubing
Email: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2007

Vorwort

Analysen von auf dem Markt angebotenem Rapsölkraftstoff zeigen, dass die Qualität von Rapsölkraftstoff aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen häufig nicht den Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 genügt.

Für den zuverlässigen Betrieb eines pflanzenöлтаuglichen Motors, aber auch für die Inanspruchnahme der Steuerbegünstigung für Rapsöl als Biokraftstoff nach dem Energiesteuergesetz ist es jedoch unverzichtbare Voraussetzung, dass der eingesetzte Kraftstoff bestimmte Mindestanforderungen erfüllt, die durch die Vornorm DIN V 51605 definiert werden.

Ziel dieser Handreichung ist es, den derzeitigen Kenntnisstand über den Einfluss von Rapssaat, Ölgewinnung, -reinigung und -lagerung bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung auf die Qualität von Rapsölkraftstoff zusammenzufassen. Damit soll den Produzenten eine Hilfestellung für die Erzeugung qualitativ hochwertigen Rapsölkraftstoffs und für den Aufbau eines Qualitätssicherungssystems gegeben werden.

Im Auftrag der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. wurden vom Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Zusammenarbeit mit der Universität Rostock, der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern sowie der ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH in einem Forschungsvorhaben Einflussfaktoren auf die Rapsölkraftstoffqualität untersucht. In diesem Vorhaben konnten viele neue Erkenntnisse erarbeitet werden, die nun Eingang in diese Handreichung gefunden haben. Der komplette Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ist in der Reihe Berichte aus dem TFZ erschienen und auch auf den Internetseiten des TFZ (<http://www.tfz.bayern.de>) veröffentlicht.

Allen Projektpartnern, die im genannten Forschungsprojekt mitgewirkt haben, aber insbesondere auch den Mitarbeitern der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Herrn Ronny Winkelmann und Herrn Dr.-Ing. Andrej Stanev, möchte ich meinen herzlichen Dank für die sehr gute Zusammenarbeit aussprechen.

Allen Ölmühlenbetreibern wünsche ich viel Erfolg bei der Erzeugung von Rapsölkraftstoff.

Dr. Edgar Remmele

Leiter

Sachgebiet Biogene Kraft-, Schmier- und Verfahrensstoffe
am Technologie- und Förderzentrum (TFZ)

Rapssorte

Nach derzeitigem Kenntnisstand nimmt die Rapssorte keinen Einfluss auf die Rapsölkraftstoffqualität. Tendenziell weisen Sommerrapssorten hinsichtlich der Oxidationsstabilität Vorteile gegenüber 00-Winterrapssorten auf. Dasselbe gilt verstärkt für hochölsäurehaltige (Sommer-) Rapssorten. Durch höhere Anteile Ölsäure kann jedoch die Viskosität des Öls bei niedrigen Temperaturen vergleichsweise stärker ansteigen.

Rapsanbau

Der Anbau sollte nach guter fachlicher Praxis und gemäß den gesetzlichen Bestimmungen an geeigneten Standorten mit standortangepassten Sorten erfolgen.

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) geerntet werden. Hohe Anteile unreifer Körner wirken sich vor allem auf die Säurezahl und die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium im Öl negativ aus. Auch eine durch Auswuchs gekennzeichnete Rapssaat ist nicht für die Verarbeitung in dezentralen Ölmühlen geeignet. 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 bis 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. Je trockener der Aufwuchs und je geringer die Masse des Aufwuchses ist, sollte der Abstand schrittweise um 2 mm vergrößert werden. 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 $\frac{3}{4}$ des Obersiebweges getragen und nicht aus dem Siebkasten hinausgeblasen werden.

Transport

Transportfahrzeuge und Transportmittel (Förderbänder, Elevatoren etc.) müssen vor Aufnahme der Rapssaat gereinigt werden und müssen absolut trocken sein. Eine Verunreinigung und Befuchtung 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. Durch den Einsatz geeigneter Fördertechniken und durch die richtige Betriebsweise kann der Anteil an Bruchkorn in der Saat auf geringem Niveau gehalten werden.

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. Saatpartien mit höherem Anteil an Besatz und Bruchkorn sowie unreifer Körner müssen deshalb entsprechend gereinigt werden.

Rapssaattrocknung

Für eine qualitätserhaltende Lagerung der Rapssaat ist ein Wassergehalt von ≤ 7 Masse-% erforderlich. Für die Ölgewinnung ist ein Wassergehalt der Saat von 6,5-7,5 Masse-% anzustreben. 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. 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. Falls erforderlich, sollte die Trocknung möglichst umgehend nach der Ernte erfolgen.

Rapssaatlagerung

Die Lagerung der Rapssaat sollte ausschließlich in zuvor gereinigten Lagerstätten erfolgen. 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 °C, besser ≤ 12 °C ist dringend anzuraten. Die Temperatur für eine qualitätserhaltende Lagerung der Rapssaat liegt bei ≤ 12 °C. 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. Durch die bei hohen Temperaturen verstärkt einsetzende Atmung der Rapssaat entstehen CO₂ und Wasserdampf sowie Wärmeenergie. 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 mindestens 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.

Rapssaatqualität

Eine für die Herstellung von Rapsölkraftstoff geeignete Rapssaat zeichnet sich durch eine gleichmäßige volle Ausreifung, keinen Auswuchs, einen geringen Anteil an Bruchkorn und einen geringen Anteil an Fremdbesatz aus. Eine zusätzliche Reinigung der Saat vor der Verarbeitung ist empfehlenswert. Unterschiedliche Rapssaatqualitäten sollten im Lager nicht vermischt, sondern getrennt eingelagert werden, um bei der Ölsaatenverarbeitung über die Rohstoffauswahl die Ölqualität beeinflussen zu können.

Vor der Einlagerung und der Verarbeitung 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.

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.

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 Rapsölkraftstoff vermieden.

Die Saatzuführung sollte mit einem Magnetabscheider ausgestattet sein, um zumindest unerwünschten Verschleiß an der Ölpresse durch ferromagnetische Störstoffe in der Saat zu vermeiden. Der Magnetabscheider ist in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und zu reinigen.

Ölpressung

Die Rapssaatverarbeitung sollte schonend erfolgen, um den Übergang unerwünschter Fettbegleitstoffe in das Öl möglichst zu unterbinden. Durch die Betriebsweise der Ölprelle lässt sich der Gehalt an Phosphor, Calcium und Magnesium beeinflussen. Mit steigendem Energieeintrag (Wärme) in die Saat bei der Ölprelle (Saatvorwärmung, Reibung und Druck in der Ölprelle, Saat-/Ölverweilzeit in der Presse) nimmt der Gehalt dieser Elemente im Öl zu. Außerdem besteht die Möglichkeit, den Gehalt und die Größenverteilung der Feststoffe im Öl innerhalb eines bestimmten Korridors zu regulieren. Die Rapssaatprelle kann über die der Ölprelle zugeführte Menge Saat, die Drehzahl der Pressschnecke und die Drücke bei der Ölprelle, die indirekt, beispielsweise durch die Spaltmaße der Seiherstäbe oder die Wahl der Pressdüse beeinflusst werden können, optimiert werden.

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

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 keine Aussagen getroffen werden. Tendenziell lassen sich jedoch mit Ölpressen, die mit (kurzem) Lochseiherr ausgestattet sind, geringere Phosphor-, Calcium- und Magnesiumgehalte erzielen als mit Pressen, die mit (langem) Seiherstabbkorb ausgeführt sind. Die Ursache für diese Beobachtung liegt möglicherweise in den unterschiedlichen Verweilzeiten des Pressgutes und des Öls an heißen Pressenbauteilen.

Die Betriebsbedingungen der Ölprelle lassen sich unter anderem durch den erzielten Abpressgrad beschreiben. Der Abpressgrad APG wird bezogen auf die Trockenmasse TM und ist nach WIDMANN 1994 definiert als prozentualer Anteil des gewonnenen Öls am Ölgehalt der Saat. Er wird berechnet nach folgender Formel ³:

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

Bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung werden Abpressgrade, bezogen auf die Trockenmasse, von ca. 80 Masse-% erzielt. Ölpressen sollten hinsichtlich des Verschleißgrads regelmäßig überwacht werden.

Ölreinigung

Die im Öl nach der Prelle 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.

³ SCHUMANN, W. (2003), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Sedimentationsverfahren als Hauptreinigungsstufe sind aufgrund der erforderlichen räumlichen Kapazitäten in der Regel nur für Ölpresen mit Saatchdurchsätzen 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.

Die Hauptreinigung von Rapsöl durch **Filtration** (zum Beispiel Kammerfilterpresse, Vertikal-Druckplattenfilter oder Vertikal-Druckkerzenfilter) erfolgt nach dem Prinzip der kuchenbildenden Filtration. Um ein schnelles Verstopfen des Filtermaterials zu vermeiden, wird der Porendurchmesser des Filtermittels (Filtertuch) 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. Der Filterkuchen, der sich im Laufe des Filtrationsprozesses aufbaut, übernimmt die Funktion des Filtermittels. Erst wenn der Filterkuchen eine ausreichende Rückhaltung der Partikel gewährleistet, wird das gefilterte Öl zur zweiten Reinigungsstufe abgeführt. Zur Verbesserung der Brückenbildung können Filterhilfsmittel (zum Beispiel Filtracel) eingesetzt werden. 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 Partikel 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 Druckgefälle 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 Filterkerzen aus gewickelter Baumwolle vom Typ CW 001 A# 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. Mit SUPRADisc Tiefenfiltermodulen des Anbieters Pall SeitzSchenk ließen sich bei den Tests sehr gute Erfolge erzielen. Diverse Beutelfilter hingegen haben sich als nur bedingt oder nicht geeignet erwiesen. Gute Filtrationser-

gebnisse lieferte jedoch der Beutelfilter Typ 2-AXL-1 μm des Herstellers Filtertechnik Jäger. Auch an dieser Stelle nicht genannte Filteranlagen können möglicherweise für die Rapsölkraftstoffherstellung geeignet sein, wurden jedoch noch nicht näher untersucht. Aus ökonomischer Sicht muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen Rückhaltevermögen des Endfilters und den Kosten für den Filter sowie der Standzeit des Filters. Angaben zu Filterstandzeiten von Endfiltern bei der Filtration von Rapsölkraftstoff sind nur sehr vage, 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. Bei den Trübungsstoffen handelt es sich zum Beispiel um höher schmelzende Glyceride, Beimengungen von Wachsen oder nachträglich ausgeschiedene Schleimstoffe. 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 Anteile an Gesamtverschmutzung im Rapsölkraftstoff zählen zu den häufigsten Reklamationsursachen. Deshalb wird die Filtration von Rapsölkraftstoff bei jedem Umschlag empfohlen.

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 Dieselmethylester ist, gemäß der Vornorm DIN V 51605, nicht zulässig.

Öllagerung

Bei der Lagerung von Rapsölkraftstoff muss darauf geachtet werden, Oxidation, Hydrolyse, Polymerisation und enzymatischen Abbau des Öls zu vermeiden. 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 Lagerungen im Freien unter Einfluss wechselnder Sonneneinstrahlung und Temperaturen, kann die Oxidationsstabilität bereits nach drei Monaten unter die Anforderungen der Vornorm DIN V 51605 absinken.

Es ist 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.

Als Materialien für die Lagerbehälter eignen sich Stahl oder Edelstahl sowie unter Einschränkungen Kunststoffe, wie High-Density-Polyethylen (HDPE). Katalytisch wirkende Metalle, wie zum Beispiel Kupfer, 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 und sollten deshalb möglichst große Öffnungen aufweisen. Nur absolut trockene Lagertanks dürfen wieder mit Rapsölkraftstoff befüllt werden.

In der Praxis werden für den Handel mit Kleinmengen an Rapsölkraftstoff häufig 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 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 aus Metall mit kubischem oder zylindrischem Tank aus Edelstahl mit Trichterboden.

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., entnehmen.

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 zu kontrollieren.

Rapsölkraftstoffeigenschaften – Vornorm DIN V 51605 und Endproduktkontrolle

Die Anforderungen an Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Motoren sind in der Vornorm DIN V 51605 definiert. Die Vornorm kann beim Beuth-Verlag, Berlin oder unter <http://www.din.de> bezogen werden. Wird bei der Abgabe von Rapsölkraftstoff durch den Ölmühlenbetreiber zum Beispiel auf dem Lieferschein oder der Rechnung Bezug auf diese Vornorm genommen, so haftet der Rapsölkraftstoffhersteller für die Einhaltung der beschriebenen Qualität. Außerdem ist eine Steuerentlastung bei der Energiesteuer für Rapsöl als Biokraftstoff an die Einhaltung der Vornorm DIN V 51605 gekoppelt. Deshalb muss es ein Anliegen des Rapsölkraftstoffherstellers zur eigenen Absicherung sein, dass regelmäßig, typischerweise chargenbezogen, die Rapsölkraftstoffqualität durch Laboranalysen überwacht und dokumentiert wird. Die richtige Vorgehensweise bei der Entnahme von Rapsölkraftstoffproben wird in der DIN EN ISO 3170 und der DIN 51750 Teil 1 und 2 beschrieben. Es ist empfehlenswert, die Analysen von erfahrenen Labors, zum Beispiel durch ein akkreditiertes 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. Bevor die Einhaltung der Anforderungen durch die Kraftstoffanalyse nicht nachgewiesen ist, sollte die entsprechende Charge nicht verkauft werden. Siehe hierzu auch „Abgabe von Rapsölkraftstoff an Kunden“.

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 Ölpressung
- 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 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

Die einzelnen Einflussfaktoren auf die Qualität von Rapsölkraftstoff sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Kennwerte von Rapsölkraftstoff

Kennwerte von Rapsölkraftstoff	Rapssaat								Ölpressung	Ölreinigung	Öllagerung	Ölabgabe
	Sorte	Staubanteil	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

Abgabe von Rapsölkraftstoff an Kunden

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. Sind die Gebinde nicht sauber und trocken 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. Bei der Abgabe großer Mengen Rapsölkraftstoff, aber auch bei der Abgabe von Rapsölkraftstoff in teilweise noch gefüllte Lagertanks oder nicht ordnungsgemäß gereinigte Lagertanks empfiehlt es sich, bei der Betankung an der Zapfanlage drei Rückstellmuster zu entnehmen. Die Probenflaschen werden im Beisein des Kunden beschriftet und mit Originalitätsverschlüssen verschlossen oder versiegelt. Die Beschriftung sollte folgende Angaben enthalten und sowohl vom Rapsölkraftstoffproduzenten als auch vom Kunden unterzeichnet werden: Adresse des Rapsölkraftstoffproduzenten, Adresse des Kunden, Proben-Nummer, Ort und Stelle der Probenahme, Art der Probenahme, Ort, Datum, Zeit, Unterschriften. Eine Flasche verbleibt beim Kunden, eine Flasche verbleibt beim Rapsölkraftstoffproduzenten und eine Flasche wird im Streitfalle an ein Prüflabor zur Analyse gegeben. Als Probengefäße haben sich Flaschen mit einem Volumen von 1 l aus HDPE bewährt. Diese sollten dicht verschließbar sein und vollständig befüllt werden. Die Lagerung von Proben und Rückstellmustern sollte dunkel und kühl (ungefähr 5 °C) zum Beispiel in einem Kühlschrank erfolgen.

Der Verkauf von Rapsölkraftstoff darf nur mit Hilfe gültig geeichter Messgeräte erfolgen. Wird für den Verkauf von Rapsölkraftstoff zum Beispiel eine Kraftstoffzapfsäule verwendet, so muss für diese Zapfsäule eine Bauartzulassung zur Eichung für Pflanzenöl der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB bestehen. Die Eichung erfolgt dann am Aufstellungsort mit einer Gültigkeit von zwei Jahren. Die Eichbehörden der Länder haben zum Thema ein Merkblatt „Informationen zum Verkauf von Pflanzenöl als alternativer Kraftstoff“ im Internet (<http://www.eichamt.de>) veröffentlicht.

Energiesteuergesetz (EnergieStG)

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. Das zuständige Hauptzollamt kann im Internet unter der Adresse <http://www.zoll.de/service/dienstverz/index.html> recherchiert werden.

Rapsöl unterliegt dem Energiesteuergesetz, wenn es als Kraft- oder Heizstoff verwendet wird. Nach § 2 Abs. 4 Energiesteuergesetz unterliegen Rapsölkraftstoff und andere pflanzliche Öle für den mobilen Einsatz grundsätzlich der gleichen Steuer wie Dieselkraftstoff, da Sie diesem in Ihrer

Beschaffenheit und in Ihrem Verwendungszweck am nächsten kommen. Jedoch ist nach § 50 EnergieStG eine Steuerbegünstigung von Rapsölkraftstoff und anderen pflanzlichen Ölen als Reinkraftstoff bis 31. Dezember 2011 festgeschrieben. Die Höhe der Steuerbegünstigung wird ab 01. Januar 2008 schrittweise verringert. Als Voraussetzung für die Gewährleistung der Steuerbegünstigung von Rapsölkraftstoff müssen die Rapsölkraftstoffhersteller ihre Tätigkeit beim zuständigen Hauptzollamt anzeigen und die Energiesteuerentlastung beantragen. Nach § 50 Abs. 1 EnergieStG wird die Steuerbegünstigung für Rapsölkraftstoff nur gewährt, für die Anteile, welche die Biokraftstoffbeimischungsquote übersteigen („fiktive Quote“). Abweichend von diesen Steuersätzen wird nach § 57 EnergieStG Pflanzenöl, welches als Reinkraftstoff in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung findet, auf Antrag vollständig von der Steuer entlastet. Diese Entlastung wird ohne zeitliche Einschränkung gewährt.

Marktordnungswaren-Meldeverordnung

Ölmühlen mit einer jährlichen Verarbeitung von 500 t bis 10.000 t Ölsaaten müssen 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.

Verbände

Der **Bundesverband Dezentraler Ölmühlen e.V.** hat sich unter anderem zum Ziel gesetzt, für dezentrale Ölmühlen ein gemeinsames Qualitätssicherungssystem einzuführen. Nähere Informationen dazu erteilt der 1. Vorsitzende Herr Günter Hell, Bundesverband Dezentraler Ölmühlen e.V., Hofgut Harschberg, 66606 St. Wendel, Telefon: 06851/8024882, Fax: 06851/8029972, Email: info@bdoel.de, URL: <http://www.bdoel.de>.

Der **Bundesverband Pflanzenöle e.V.** versteht sich als Interessensvertretung aller mit Pflanzenölen befassten Gruppen. Nähere Informationen erteilt der 1. Vorsitzende Prof. Dr. Ernst Schrimpf, Bundesverband Pflanzenöle e.V., Quenteler Straße 19, 34320 Söhrewald, Telefon: 05608/9587990, Fax: 05608/9587991, Email: info@bv-pflanzenoele.de, URL: <http://www.bv-pflanzenoele.de>.

Die **Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. UFOP** sieht sich als Dachverband aller an der Produktion, Verarbeitung und Vermarktung heimischer Öl- und Eiweißpflanzen beteiligten Unternehmen, Verbände und Institutionen. Nähere Information erteilt der Geschäftsführer Dr. Norbert Heim, Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V., Haus der Land- und Ernährungswirtschaft, Claire-Waldoffstraße 7, 10117 Berlin, Telefon: 030/31904202, Fax: 030/31904485, Email: info@ufop.de, URL: <http://www.ufop.de>.

Weiterführende Literatur

- [1] ALPMANN, L. et al. (2006): Raps - Anbau und Verwertung einer Kultur mit Perspektive. Ertrag und Qualität sichern. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag, 264 Seiten
- [2] CHRISTEN, O.; FRIEDT, W. (2007): Winterraps. Das Handbuch für Profis. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 323 Seiten
- [3] FEIFFER, A. (2007): Raps erst nach dem Weizen dreschen? Raps, Jg. 25, Nr. 2, S. 86-88
- [4] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (KTBL) (Hrsg.) (2005): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung KTBL-Schrift, Nr. 427, Münster: Landwirtschaftsverlag, 164 Seiten
- [5] REMMELE, E.; STOTZ, K. (2003): Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich - Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis. Berichte aus dem TFZ, Nr. 1. Abschlussbericht Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. FKZ 22004900. Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 115 Seiten
- [6] STOTZ, K.; REMMELE, E. (2005): Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland. Berichte aus dem TFZ, Nr. 3. Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 53 Seiten
- [7] REMMELE, E. (2002): Reinigung kaltgepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen - Endbericht zum Forschungsvorhaben. „Gelbes Heft“, Nr. 75. München: Hrsg. und Druck: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 161 Seiten
- [8] WIDMANN, B. A. (1994): Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Minderung des Phosphorgehaltes von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Dissertation: Technische Universität München. Arbeitskreis Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, Nr. 262. Freising: Landtechnik Weihenstephan, Eigenverlag, 157 Seiten
- [9] 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: Landtechnik Weihenstephan, Eigenverlag, 194 Seiten
- [10] REMMELE, E.; STOTZ, K.; WITZELSPERGER, J.; GASSNER, T. (2007): Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich - Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen. Berichte aus dem TFZ, Nr. 12. Straubing: Technologie- und Förderzentrum (in Vorbereitung)
- [11] HUMPISCH, G. (2002): Getreide lagern - Belüften und Trocknen. 2. Auflage, Bergen: Agri-media, 124 Seiten
- [12] HUMPISCH, G. (2002): Gesunderhaltung von Rapsaat. Raps, Jg. 20, Nr. 3, S. 154-146
- [13] BUNDESVERBAND DER AGRARGEWERBLICHEN WIRTSCHAFT E.V. et al. (Hrsg.) (2005): Hygienische Maßnahmen für den Umgang mit Getreide und Ölsaaten, 2 Seiten (<http://www.raiffeisen.de/>)
- [14] BAYERISCHE EICHVERWALTUNG (2006): Informationen zum Verkauf von Pflanzenöl als alternativer Kraftstoff, 3 Seiten (<http://www.eichamt.de>)

Ein Teil der angegebenen Literatur und weitere Informationen können im Internet unter <http://www.tfz.bayern.de> abgerufen werden.

Berichte im Rahmen dieser Schriftenreihe

Berichte aus dem TFZ:

1	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
2	Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
3	Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
4	Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzcentralheizungsanlagen kleiner Leistung
5	Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
6	Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
7	Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
8	Wärmegegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
9	Maize as Energy Crop for Combustion - Agricultural Optimisation of Fuel Supply
10	Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
11	Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
12	Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen

