



Landtechnischer Verein in Bayern e.V.

Endbericht zum Forschungsvorhaben

Reinigung kaltgepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen

Auftraggeber:

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft
und Forsten (BayStMLF), München

Durchführung:

Landtechnischer Verein in Bayern e.V. (LTV)
Vöttinger Straße 36 • D-85354 Freising
Vorsitzender: Dipl.-Ing. (FH) Gert Stadler
Geschäftsführer: AkadD Dr. Georg Wendl

in Zusammenarbeit mit:

Bayerische Landesanstalt für Landtechnik
Vöttinger Straße 36 • D-85354 Freising

Projektleiter: Dr. Bernhard Widmann

Bearbeiter und Autor: Dipl.-Ing. agr. Edgar Remmele

Bearbeiter: Jochen Breun (Versuch), Anja Rocktäschel (Labor)

Zitierhinweis:

REMMELE, E.; B. WIDMANN; J. BREUN und A. ROCKTÄSCHEL (2002): Reinigung kalt-
gepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen – „Gelbes Heft“ Nr. 75. Hrsg.:
Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München. (161
Seiten)

Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Fischer und Herrn Helget von der Firma Pall SeitzSchenk, Herrn Purr und Herrn Wagner von der Firma Amafilter, Herrn Braun von der Firma Braun Filtrationstechnik sowie Herrn Szyplewski und Herrn Skuras von der Firma IBG Monforts Oekotec für die leihweise Überlassung von Filterapparaten beziehungsweise Ölpresenbauteilen und die hervorragende Unterstützung bei der Projektdurchführung.

Der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, Freising, speziell Herrn Aigner und Herrn Salzeder, ist für die Bereitstellung der Rapssaaten aus den Anbauversuchen zu danken.

Herzlicher Dank gebührt Herrn Peter Kräske von der Fachhochschule Weihenstephan, der im Rahmen seiner Diplomarbeit mit hohem Engagement bei der Erarbeitung von Teilaspekten im Untersuchungsvorhaben mitgewirkt hat.

Für die Mithilfe beim Aufbau des Filtrationsversuchsstandes und bei der Realisierung des „Sedimentationssystems Weihenstephan“ sei den Mitarbeitern der Werkstatt der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik und deren Leiter Herrn Wildgruber sowie dem Leiter der Konstruktion Herrn Rödel gedankt. Ebenso ist Herrn Dr. Stanzel und Herrn Dallinger von der Messtechnikabteilung der Landtechnik Weihenstephan für die gute Zusammenarbeit zu danken.

Nicht zuletzt gilt besonderer Dank dem Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten für die Förderung des Untersuchungsvorhabens.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	5
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	7
TABELLENVERZEICHNIS	11
1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	13
2 STAND DES WISSENS	15
2.1 Ölgewinnung	15
2.2 Eigenschaften des Trüböls	17
2.3 Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung	21
2.3.1 Sedimentation.....	22
2.3.2 Filtration.....	27
2.3.3 Entfeuchtung des Filterkuchens.....	34
2.4 Analytik von Ölen und Feststoff-Rückständen	35
3 ZIELSETZUNG	36
4 MATERIAL UND METHODISCHES VORGEHEN	38
4.1 Rapssaat	38
4.2 Ölgewinnung zur Erzeugung von Trübölen	42
4.3 Kontinuierliches Sedimentationsverfahren	46
4.4 Filtration mit einer Kammerfilterpresse	50
4.4.1 Filtermittel	54
4.4.2 Filterhilfsmittel.....	55
4.5 Untersuchungen an Sicherheitsfiltern	57
4.5.1 Beutelfilter.....	59
4.5.2 Kerzenfilter	61
4.5.3 Tiefenfilter.....	63
4.5.4 Schichtenfilter	65
4.6 Probenahme	67
4.7 Analytik	68
4.7.1 Gesamtverschmutzung.....	68
4.7.2 Partikelgrößenverteilung.....	69
4.7.3 Ölgehalt im Filterkuchen	72
4.8 Versuchsauswertung und Ergebnisdarstellung	72

5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	74
5.1	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl	74
5.1.1	Einfluss der Rapssaat	74
5.1.2	Einfluss der Pressparameter.....	78
5.2	Kontinuierliche Sedimentation	83
5.3	Filtration mit einer Kammerfilterpresse	86
5.4	Sicherheitsfiltration	89
5.4.1	Beutelfilter	89
5.4.2	Kerzenfilter.....	91
5.4.3	Tiefenfilter	94
5.4.4	Schichtenfilter	96
6	EINORDNUNG DER ERGEBNISSE UND AUSBLICK	99
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	102
8	SUMMARY	103
	LITERATUR	105
	ANHANG.....	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verfahrensablauf bei der Ölgewinnung in industriellen Großanlagen [42]	16
Abbildung 2:	Verfahrensschritte der Rapsöl-Raffination in industriellen Großanlagen [42]	16
Abbildung 3:	Verfahrensablauf bei der Ölgewinnung in dezentralen Anlagen [42].....	17
Abbildung 4:	Charakterisierung von Trüböl	18
Abbildung 5:	Viskositäts-Temperatur-Verhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [38]	19
Abbildung 6:	Gesamtverschmutzung (in Anlehnung an DIN 51 419) im ungereinigten Öl in Abhängigkeit vom Pressentyp [41].....	20
Abbildung 7:	Verfahren und Apparate-Beispiele für die Fest/Flüssig-Trennung bei Pflanzenölen	22
Abbildung 8:	Prinzip der diskontinuierlichen Sedimentation	23
Abbildung 9:	Prinzip der kontinuierlichen Sedimentation.....	24
Abbildung 10:	Kontinuierliches Sedimentationsverfahren für Pflanzenöle – „System Weihenstephan“ [42].....	25
Abbildung 11:	Prinzip der diskontinuierlichen und kontinuierlichen Sedimentation im Zentrifugalfeld.....	26
Abbildung 12:	Prinzip der kuchenbildenden Filtration	27
Abbildung 13:	Prinzip der Tiefenfiltration	29
Abbildung 14:	Aufbau und Funktion einer Kammerfilterpresse	30
Abbildung 15:	Aufbau und Funktion eines Vertikal-Druckkerzenfilters.....	31
Abbildung 16:	Aufbau und Funktion eines Beutelfilters.....	32
Abbildung 17:	Aufbau und Funktion eines Einzelkerzenfilters	33
Abbildung 18:	Flüssigkeitsverteilung in einem Filterkuchen.....	34
Abbildung 19:	Versuchsvarianten bei der Ermittlung des Einflusses der Prozessparameter der Ölsaatenverarbeitung auf die Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl.....	44
Abbildung 20:	Pressgarnituren „alter Bautyp A“ und „neuer Bautyp B“ für die Ölpresse Komet DD 85 G des Herstellers IBG Monforts	45
Abbildung 21:	„Sedimentationssystem Weihenstephan“ alte Bauform „A“	47
Abbildung 22:	„Sedimentationssystem Weihenstephan“ neue Bauform „B“	48
Abbildung 23:	„Sedimentationssystem Weihenstephan“ neue Bauform „B“ – konstruktive Umsetzung.....	48
Abbildung 24:	Kammerfilterpresse KFP 470 des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH.....	50

Abbildung 25:	Trubrahmen für die Kammerfilterpresse KFP 470.....	51
Abbildung 26:	Versuchsaufbau zur Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse	52
Abbildung 27:	Filtermittel Marsyntex [®] NKD 2319 des Herstellers Otto Markert & Sohn GmbH.....	54
Abbildung 28:	Filtermittel E/23 Propex des Herstellers Madison Filter GmbH ...	55
Abbildung 29:	Filterhilfsmittel Lignocel [®] C 120 des Herstellers J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.	56
Abbildung 30:	Filterhilfsmittel Becocel [®] 2000 des Herstellers E. Begerow GmbH & Co.	56
Abbildung 31:	Versuchsaufbau zur Prüfung der Eignung von Sicherheitsfiltern für die Filtration von Rapsöl aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen	58
Abbildung 32:	Beutelfilter-Gehäuse des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande	59
Abbildung 33:	Filterbeutel des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande	60
Abbildung 34:	Einzelkerzen-Filtergehäuse des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande	61
Abbildung 35:	Filterkerzen des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande	62
Abbildung 36:	CJC-Feinfilter des Herstellers Karberg & Hennemann, Hamburg	63
Abbildung 37:	Zwei gestapelte Filterpatronen B 27/54 für CJC-Feinfilter.....	64
Abbildung 38:	Schichtenfilter Gnom Niro 200 des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Waldstetten.....	65
Abbildung 39:	Filterschichten des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Waldstetten.....	66
Abbildung 40:	Analyse der Gesamtverschmutzung (GV) in Rapsöl in Anlehnung an DIN EN 12662	69
Abbildung 41:	Partikelgrößenanalyse in Rapsöl mittels Laserbeugungsspektroskopie, Messgerät Helos der Firma Sympatec	71
Abbildung 42:	Herleitung der grafischen Darstellungsform für die Partikelgrößenverteilung als „Bubble-Plot“	73
Abbildung 43:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapsorten bei unterschiedlichen Erntejahren.....	75
Abbildung 44:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapsorten ohne und mit Pflanzenschutzmaßnahmen und Blattdüngung	75

Abbildung 45:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapsorten bei unterschiedlichen Aussaatdichten	76
Abbildung 46:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapsorten bei unterschiedlichen Stickstoffdünger-Gaben	76
Abbildung 47:	Korrelation zwischen Tausendkorngewicht der Rapssaat bei der Verarbeitung und der Gesamtverschmutzung im Trüböl.....	77
Abbildung 48:	Korrelation zwischen Feuchte der Rapssaat bei der Verarbeitung und der Gesamtverschmutzung im Trüböl.....	78
Abbildung 49:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und hoher Verschleiß der Pressgarnitur (Pressspalt 2,15 mm) „Bautyp A“	80
Abbildung 50:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und hoher Verschleiß der Pressgarnitur und Reduzierung des Pressspalts durch Distanzringe (Pressspalt 1,55 mm) „Bautyp A“	80
Abbildung 51:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und neue Pressgarnitur (Pressspalt 1,75 mm) „Bautyp B“	81
Abbildung 52:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 90 °C und neue Pressgarnitur (Pressspalt 1,75 mm) „Bautyp B“	81
Abbildung 53:	Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentationssystem Typ A – Variante geringe Gesamtverschmutzung im Trüböl	84
Abbildung 54:	Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentationssystem Typ A – Variante hohe Gesamtverschmutzung im Trüböl	84
Abbildung 55:	Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentationssystem Typ B.....	85
Abbildung 56:	Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse (Filtermittel NKD 2319, ohne Filterhilfsmittel)	86
Abbildung 57:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einer Kammerfilterpresse (Filtermittel NKD 2319, ohne Filterhilfsmittel)	87
Abbildung 58:	Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter (Filterbeutel AP 1 P 1-S)	90

Abbildung 59:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter (Filterbeutel AP 1 P 1-S)	90
Abbildung 60:	Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter (Filterkerze CW 001 A10 SC).....	92
Abbildung 61:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter (Filterkerze CW 001 A10 SC).....	92
Abbildung 62:	Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter CJC-Feinfilter (Filterpatrone B 27/54)	94
Abbildung 63:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Tiefenfilter CJC-Feinfilter (Filterpatrone B 27/54).....	95
Abbildung 64:	Filtration von Rapsöl mit einem Schichtenfilter (Filterschicht HS 6000)	96
Abbildung 65:	Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Schichtenfilter (Filterschicht HS 6000).....	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Viskositäts-Temperatur-Verhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [38]	19
Tabelle 2:	Kurzbeschreibung der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]	39
Tabelle 3:	Standortbeschreibung und Anbaubedingungen der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]	40
Tabelle 4:	Düngung und Pflanzenschutz bei den Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]	40
Tabelle 5:	Eigenschaften der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7] und eigene Analysen.....	41
Tabelle 6:	Eigenschaften der Rapssaaten aus Beständen der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik	41
Tabelle 7:	Prozessparameter bei der Ölsaatenverarbeitung (Mittelwerte und Standardabweichung)	43
Tabelle 8:	Versuchsdaten zu den Untersuchungen an einem kontinuierlichen Sedimentationssystem	49

1 Einleitung und Problemstellung

Die Ölsaatenverarbeitung in dezentralen Anlagen, zumeist im ländlichen Raum, hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Inzwischen sind im Bundesgebiet mindestens 150 dezentrale Ölmühlen in Betrieb, mit Schwerpunkt im Süddeutschen Raum. Allein in Bayern gibt es derzeit nach eigenen Erhebungen etwa 70 ölsaatenverarbeitende Betriebe. Die Möglichkeit der Erzeugung von Pflanzenöl und hochwertigem Eiweißfuttermittel (Presskuchen) durch landwirtschaftliche Betriebe oder Erzeugergemeinschaften, kann einen wertvollen Beitrag zur Erhöhung der Wertschöpfung in der Landwirtschaft liefern und fördert das Wirtschaften in regionalen Stoffkreisläufen. Nicht zuletzt angeregt durch den ansteigenden Dieselpreis und die politische Einflussnahme (Kürzung der Gasölverbiligung, Einführung der Ökosteuer) steigt derzeit in der Landwirtschaft die Nachfrage nach naturbelassenem Rapsöl als Kraftstoff. Aber auch als Speiseöl, Futteröl, Verlustschmierstoff, Trennmittel und Grundöl für Verfahrens- und Schmierstoffe werden Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen vermarktet.

Im Gegensatz zu großen zentralen Ölmühlen, bei denen die Ölgewinnung, vereinfacht dargestellt, mit den Verfahrensschritten Warmpressung, Lösungsmittlextraktion und Raffination erfolgt, wird bei dezentralen Anlagen eine Kaltpressung der Ölsaaten und eine anschließende Reinigung durchgeführt. Unter Reinigung ist hierbei die Entfernung von festen Verunreinigungen (hauptsächlich Samenbestandteile) aus dem Öl zu verstehen (Fest/Flüssig-Trennung). Da bei der dezentralen Ölgewinnung die Reinigung am Ende der Verfahrenskette steht und auf Verfahrensschritte der Raffination verzichtet wird, nimmt die Reinigung des Pflanzenöls entscheidenden Einfluss auf die Produktqualität.

Samenbestandteile enthalten Enzyme, die bei der Keimung von Ölsaaten den Abbau der Triglyceride (chemischer Grundbaustein von pflanzlichen und tierischen Fetten) ermöglichen. Ein hoher Anteil Samenbestandteile in Pflanzenölen birgt deshalb die Gefahr einer vorzeitigen Ölalterung. Für technische Verwendungsbereiche können Verunreinigungen im Öl außerdem zu Filterverstopfungen oder zu Abrasion an Werkstoffen führen.

Im Untersuchungsvorhaben „Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW“ [32], gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, zeigte sich, dass die Gesamtverschmutzung in Rapsölkraftstoffproben großen Schwankungen unterliegt. Von mehr als 70 % der untersuchten Kraftstoffproben wurde der im „RK-Qualitätsstandard 05/2000“ festgelegte Grenzwert von maximal 25 mg/kg Gesamtverschmutzung überschritten. Die Einhaltung des Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung ist jedoch ein entscheidendes Kriterium für einen problemlosen Betrieb pflanzenöлтаuglicher Dieselmotoren [26].

In Anlagen zur dezentralen Ölsaatenverarbeitung ist in der Regel eine Ausstattung mit Apparaten zur Fest-/Flüssig-Trennung vorhanden. Die angewandten Reinigungsverfahren lassen sich unterscheiden in Sedimentations- und Filtrationsverfahren [30]. Bei der Auslegung der Reinigungsverfahren und beim Betrieb der Apparate, sind jedoch häufig die Eigenschaften des Trüböls (ungereinigtes Pflanzenöl) nicht bekannt oder werden nicht berücksichtigt, so dass der gewünschte Reinigungserfolg nicht erzielt wird. Daher ist die Kenntnis der Einflussfaktoren beim Ölgewinnungsprozess auf die Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl sowie der Zusammenhänge bei der Ölreinigung für die Optimierung des Ölreinigungsprozesses erforderlich. Außerdem wird dem zusätzlichen Einsatz sogenannter Sicherheitsfilter mit definierter Porenweite am Ende des Ölreinigungsprozesses nicht genügend Beachtung geschenkt. Mit Hilfe dieser Sicherheitsfilter können zum einen letzte Verunreinigungen zurückgehalten werden, zum anderen Prozessfehler bei der Ölreinigung durch den überproportionalen Anstieg des Differenzdrucks am Sicherheitsfilter erkannt werden. Welche Sicherheitsfilter sich bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung besonders eignen, ist nicht bekannt.

2 Stand des Wissens

2.1 Ölgewinnung

Die Herstellung von Pflanzenölen erfolgt in industriellen Ölsaatenverarbeitungsanlagen mit hoher Verarbeitungskapazität (zentrale Ölmühlen, Großanlagen) oder in Anlagen mit geringer Verarbeitungskapazität im zumeist landwirtschaftlichen Umfeld (dezentralen Ölmühlen, Kleinanlagen). Bei Erzeugnissen aus zentralen Ölmühlen handelt es sich in der Regel um ein raffiniertes Pflanzenöl, während dezentrale Anlagen ein sogenanntes kaltgepresstes Pflanzenöl herstellen, das keine weiteren Raffinationsschritte durchläuft. Die Technologie der zentralen und dezentralen Ölsaatenverarbeitung ist ausführlich in der Literatur beschrieben, zum Beispiel [9] [15] [24] [40] [21] [42], ebenso verfahrenstechnische Untersuchungen zur Ölsaatenverarbeitung [34] [27] [28].

Die Verfahrensschritte der Ölgewinnung in industriellen Großanlagen sowie die Raffinationsschritte zeigen Abbildung 1 und Abbildung 2, den Verfahrensablauf bei der dezentralen Ölgewinnung zeigt Abbildung 3. Deutlich wird, dass der Verfahrensschritt „Reinigung des Trüböls“ bei der dezentralen Ölgewinnung entscheidenden Einfluss auf die Qualität des Reinöls nimmt. Die Reinigungsverfahren werden unterschieden in Sedimentationsverfahren im Erdschwerefeld und im Zentrifugalfeld sowie in Filtrationsverfahren. Die Sedimentation im Zentrifugalfeld (Zentrifugenverfahren) ist in dezentralen Anlagen wenig verbreitet.

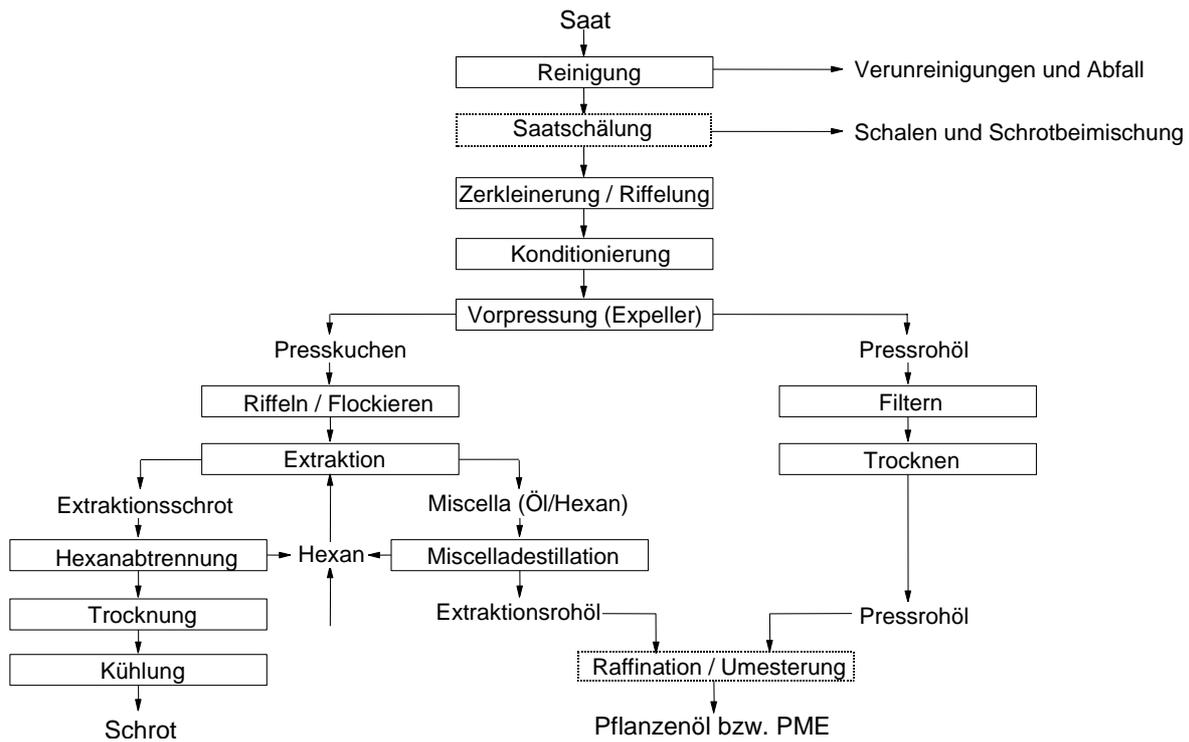


Abbildung 1: Verfahrensablauf bei der Ölgewinnung in industriellen Großanlagen [42]

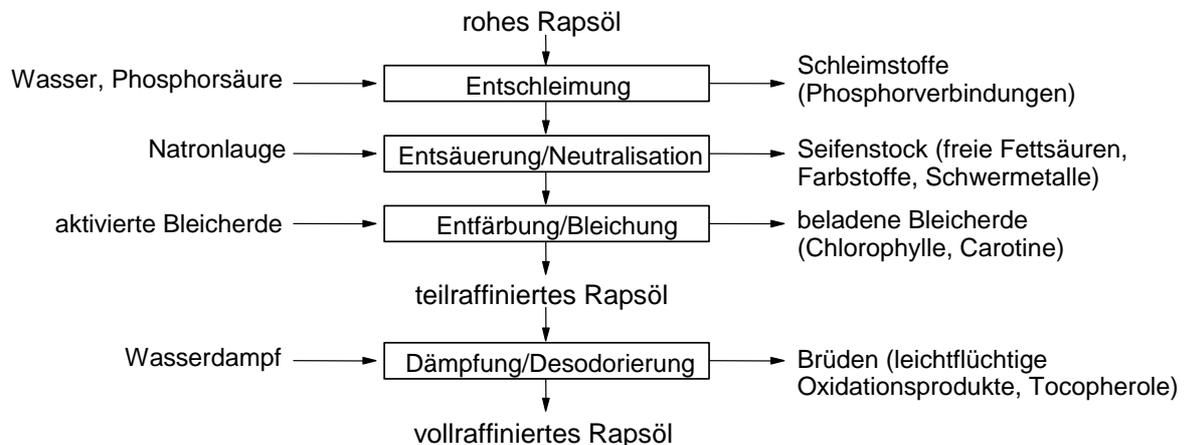


Abbildung 2: Verfahrensschritte der Rapsöl-Raffination in industriellen Großanlagen [42]

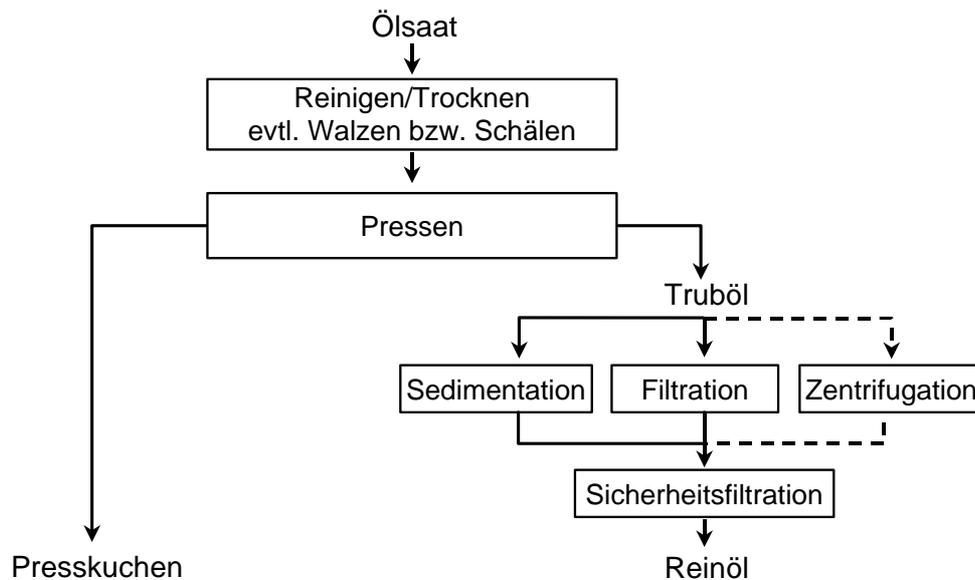


Abbildung 3: Verfahrensablauf bei der Ölgewinnung in dezentralen Anlagen [42]

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

2.2 Eigenschaften des Trüböls

Pflanzenöl, das direkt nach der Ölpressung ohne weiteren Verarbeitungsschritt vorliegt, wird als Trüböl bezeichnet, zum Teil auch als Rohöl. Trüböl ist ein zwei-phasiges Stoffgemisch aus einer flüssigen Phase (Öl) und einer festen Phase (Partikel). Eine Möglichkeit der Charakterisierung von Trüböl zeigt Abbildung 4.

Der Begriff Trüböl ist auch allgemeiner für das Input-Öl in einem Reinigungsverfahren gebräuchlich, so dass ein Öl, das bereits ein Reinigungsverfahren durchlaufen hat, als Zwischenqualität vor der Sicherheitsfiltration, auch als Trüböl bezeichnet wird.

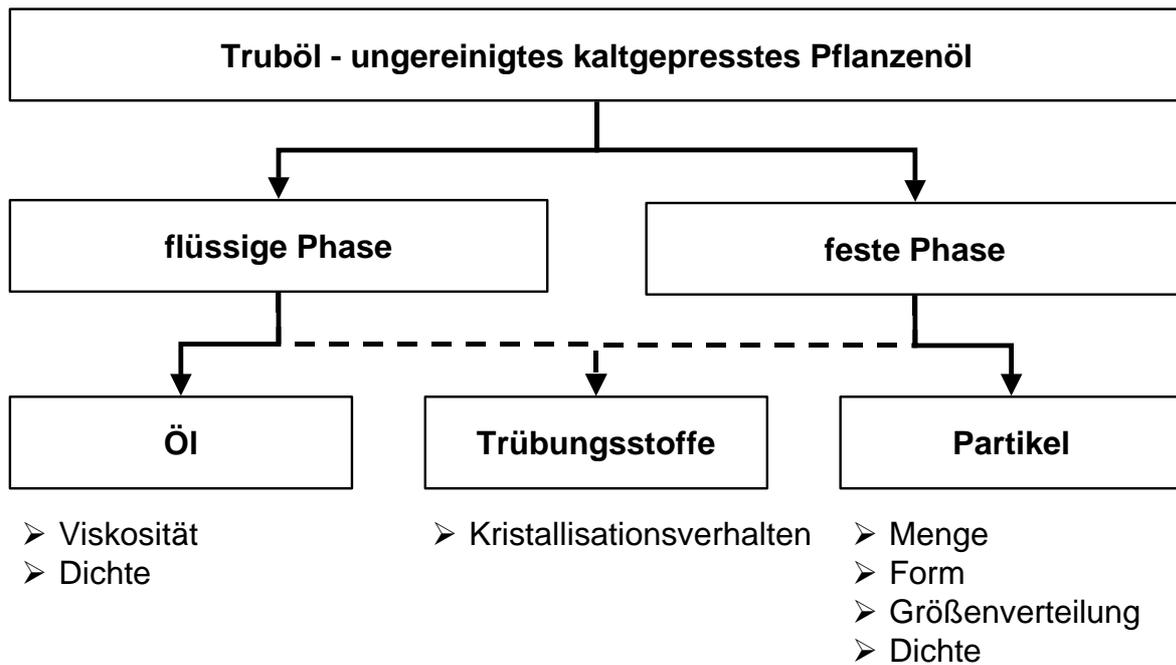


Abbildung 4: Charakterisierung von Trüböl

Für die Fest/Flüssig-Trennung wichtige physikalische Kenngrößen der flüssigen Phase sind die kinematische Viskosität und die Dichte. Das Viskositäts-Temperaturverhalten von kaltgepresstem Rapsöl ist in Abbildung 5 dargestellt, die zugehörigen Analysenwerte zeigt Tabelle 1. Die Dichte (DIN EN ISO 3675) von Rapsöl, gemessen bei 15 °C, beträgt im Durchschnitt 920,0 kg/m³ [32].

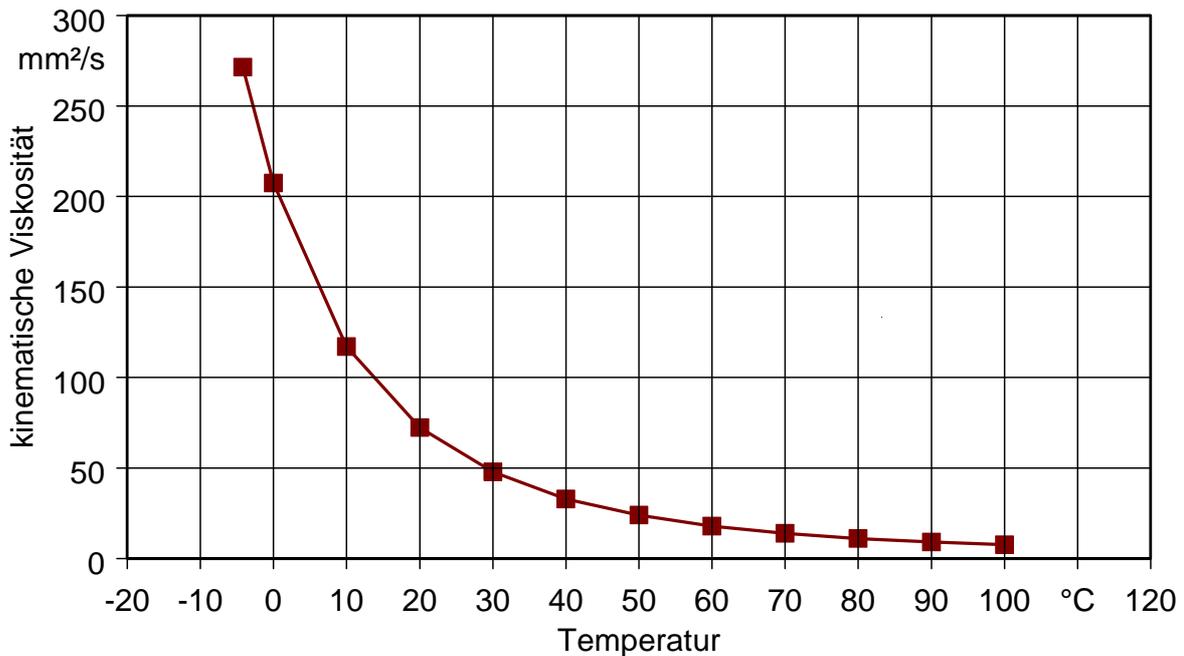


Abbildung 5: Viskositäts-Temperatur-Verhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [38]

Tabelle 1: Viskositäts-Temperatur-Verhalten nach DIN 51562-1 (Ubbelohde) von kaltgepresstem Rapsöl [38]

Temperatur	° C	-4,2	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Viskosität	mm²/s	271,5	207,5	117,1	72,3	47,9	32,9	24,0	17,9	13,9	11,1	9,1	7,7

Die feste Phase (im Öl suspendierte Partikel) lässt sich durch ihre Menge, Form, Größenverteilung und Dichte beschreiben.

Die Partikelmenge wird zumeist als Massenkonzentration angegeben, wobei unterschieden werden muss, ob die Partikelmenge ölfrei oder ölhaltig bestimmt wurde. Von WIDMANN (1994) [39] zusammengestellte Literaturangaben nennen eine Feststoffmenge von 1 – 13 Gew.-% (ölhaltig) im Truböl direkt nach der Pressung. Als Ergebnis eigener Untersuchungen von WIDMANN (1994) [39] an einer Ölpresse, Komet Doppelspindelpresse DD 85 G des Herstellers IBG Monforts, wird ein Minimum an Feststoffgehalt (ölhaltig) von 1,0 Gew.-% und ein Maximum von 14,8 Gew.-% ermittelt. Ein typischer Feststoffgehalt liegt bei etwa 2,3 Gew.-%. Die Bestimmung der ölhaltigen Feststoff-Massenkonzentration erfolgte in Anlehnung an DIN ISO 3734. Presskopftemperatur, Düsendurchmesser und Drehzahl der

Pressschnecke sowie Saatfeuchte und Saatterperatur nehmen bei dem genannten Pressentyp Einfluss auf den Feststoffgehalt. Ein geringer Feststoffgehalt wird erreicht durch niedrige Drehzahl, kleinen Düsendurchmesser und hohe Presskopftemperatur sowie durch zunehmende Saatfeuchte und Saatterperatur.

GRAF et al. (2000) [16] untersuchte die Eignung verschiedener Ölsaaten, darunter auch Winterraps, für das Kaltpressverfahren mit einer Ölpressen Komet GA 59G der Firma IBG Monforts. Er stellte fest, dass mit steigender Schneckendrehzahl und Presskopftemperatur der Anteil der Feststoffe im Öl tendenziell abnimmt.

In einem Ringversuch mit einer Rapscharge an 22 dezentralen Ölgewinnungsanlagen, wurden die in Abbildung 6 dargestellten ölfreien Feststoffgehalte (Gesamtverschmutzung in Anlehnung an DIN 51 419-A) in Abhängigkeit des Pressentyps ermittelt [41]. Die Ergebnisse zeigen deutlich die hohe Variabilität der Gesamtverschmutzung in Trübölen nach der Pressung. Die Partikelmenge im Trüböl ist beeinflusst durch die eingesetzte Ölgewinnungstechnik (z.B. Lochzylinder-Schneckenpressen, Seiher-Schneckenpressen) sowie die Prozessparameter beim Pressen des Öls.

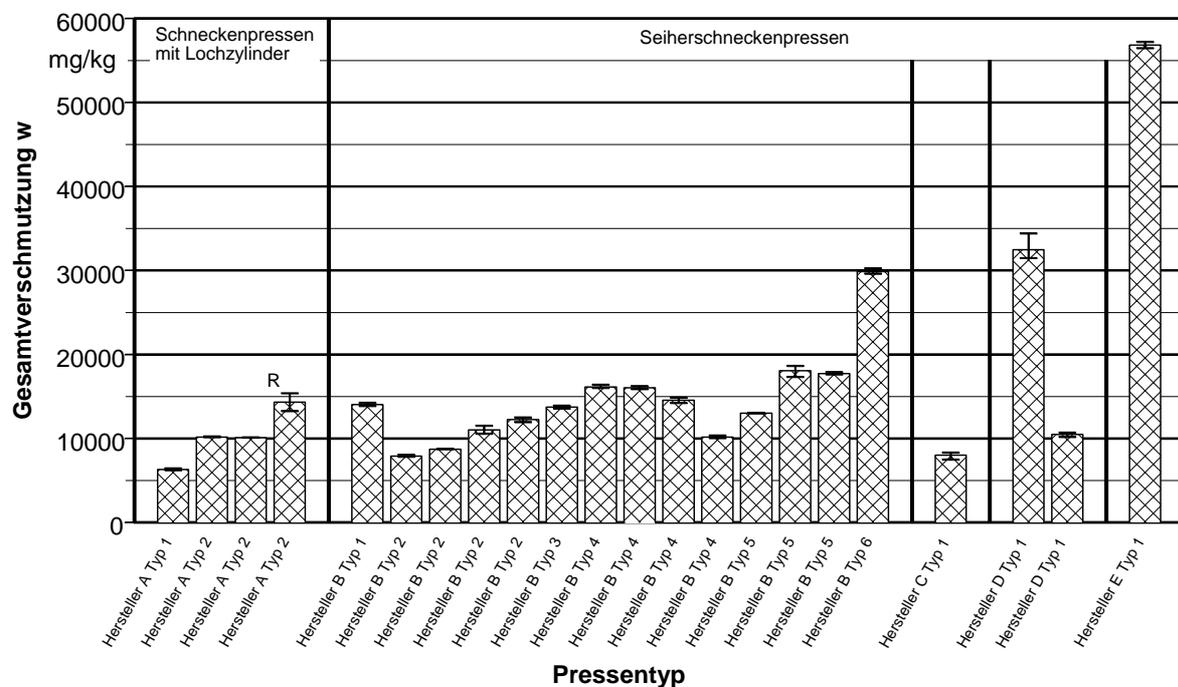


Abbildung 6: Gesamtverschmutzung (in Anlehnung an DIN 51 419) im ungereinigten Öl in Abhängigkeit vom Pressentyp [41]

Untersuchungen der Dichte von Samenbestandteilen durch die Bayerische Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft im Pyknometer mit Xylol erbrachten folgende Unterschiede: Die Dichte von Rapskernfleisch beträgt $1,1062 \text{ g/cm}^3$, die Dichte von Raps-Samenschalen beträgt $1,3558 \text{ g/cm}^3$. Partikel im Trüböl können jedoch auch von Fremdbesatz in der Saat und möglicherweise aus metallischem Abrieb stammen und weisen deshalb davon abweichende Dichten auf.

Beschreibungen der Form und der Größenverteilung der Partikel im Trüböl sind nicht bekannt.

Neben „festen“ Verunreinigungen können in Ölen, zum Teil erst nach längerer Lagerzeit, Trübungsstoffe sichtbar werden. Diese Trübungsstoffe sind vor allem bei Speiseölen von Bedeutung, da sie die Brillanz bzw. die optische Blankheit beeinträchtigen. Bei den Trübungsstoffen handelt es sich zum Beispiel um höher schmelzende Glyceride, Beimengungen von Wachsen oder nachträglich ausgeschiedene Schleimstoffmengen. Bei längerer Lagerung können sich die Trübungsstoffe absetzen und bilden einen weißlichen Bodenbelag. Hinweise auf die Zusammensetzung dieser Trübungsstoffe finden sich bei LIU et al. (1995) [22].

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

2.3 Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung

Allgemeine Übersichten über die physikalischen Grundprinzipien der Fest/Flüssig-Trennung und die verschiedenen Verfahren finden sich unter anderem bei [13] [17] und [33]. Die Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung die bei der Reinigung von Pflanzenölen eingesetzt werden, lassen sich in Sedimentations- und Filtrationsverfahren unterteilen [8] [30] [31]. In dezentralen Ölgewinnungsanlagen erfolgt die Reinigung zumeist in zwei Stufen, zuerst als Hauptreinigung (Grobklärung) und anschließend als Sicherheitsfiltration (Endfiltration). Bei der Hauptreinigung sollen die Feststoffe bereits möglichst vollständig aus der flüssigen Phase entfernt werden. Die Sicherheitsfiltration hat die Aufgabe, Störungen bei der Hauptreinigung anzuzeigen und die angestrebte Reinheit der Charge sicherzustellen. Die Verfahren bei der Hauptreinigung sind Sedimentation oder Filtration, in seltenen Fällen

auch Zentrifugation. Sedimentationsverfahren werden aufgrund des hohen Raumbedarfs nur bei Ölpresen mit Verarbeitungskapazitäten bis ca. 50 kg Ölsaats/h eingesetzt. Bei der Sicherheitsfiltration werden ausschließlich Filtrationsverfahren eingesetzt. Abbildung 7 zeigt die Systematik der Verfahren der Fest/Flüssig-Trennung und nennt Apparatebeispiele.

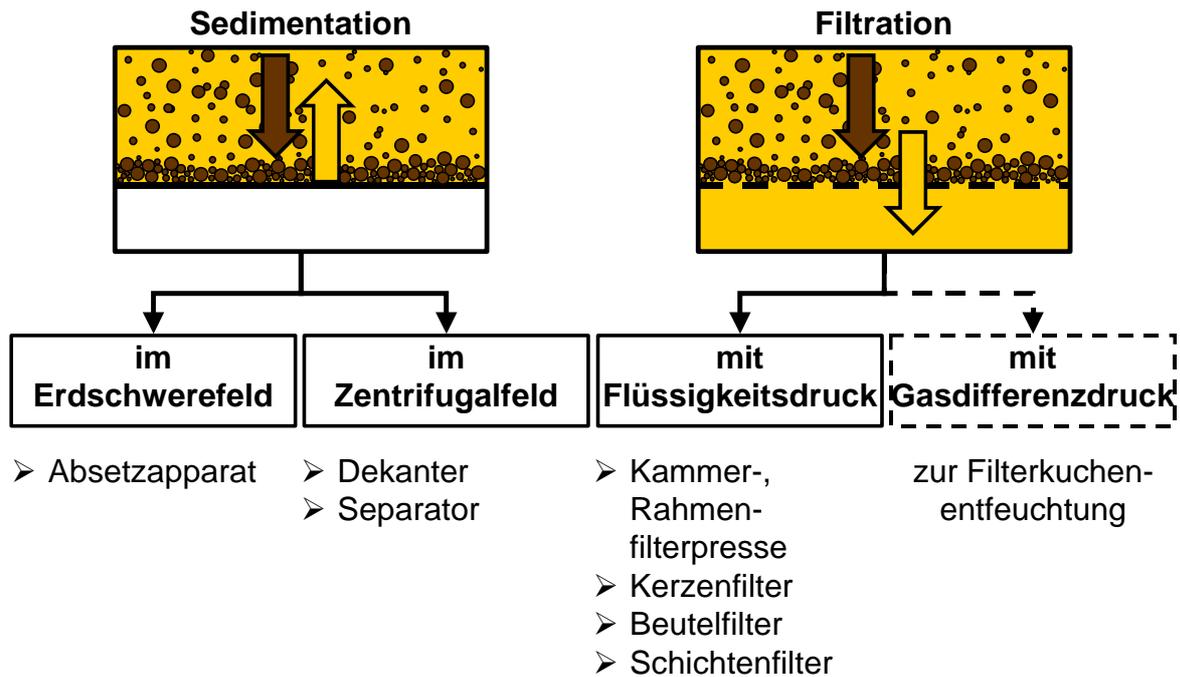


Abbildung 7: Verfahren und Apparate-Beispiele für die Fest/Flüssig-Trennung bei Pflanzenölen

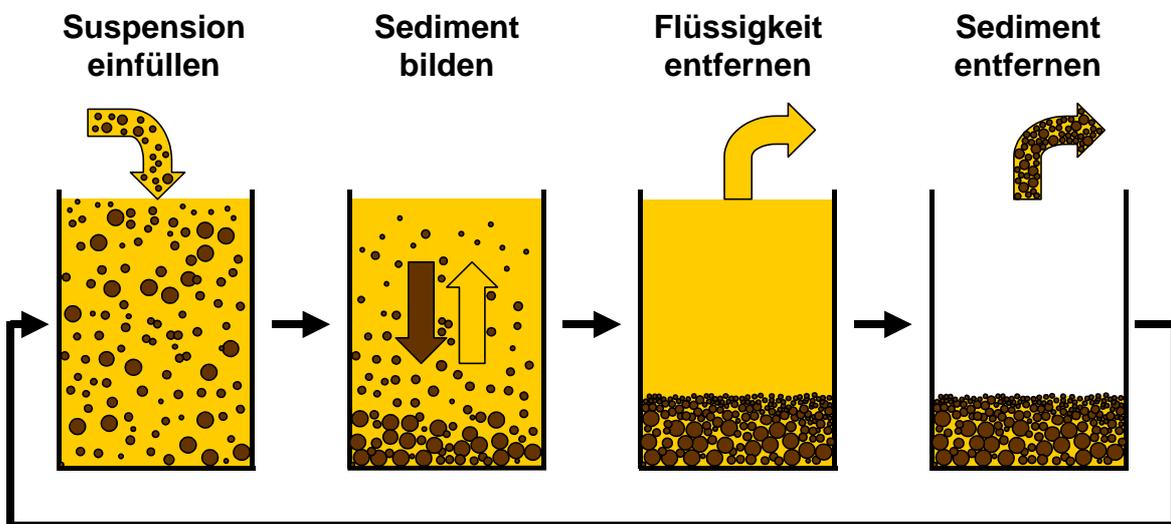
2.3.1 Sedimentation

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

Sedimentation im Erdschwerefeld

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

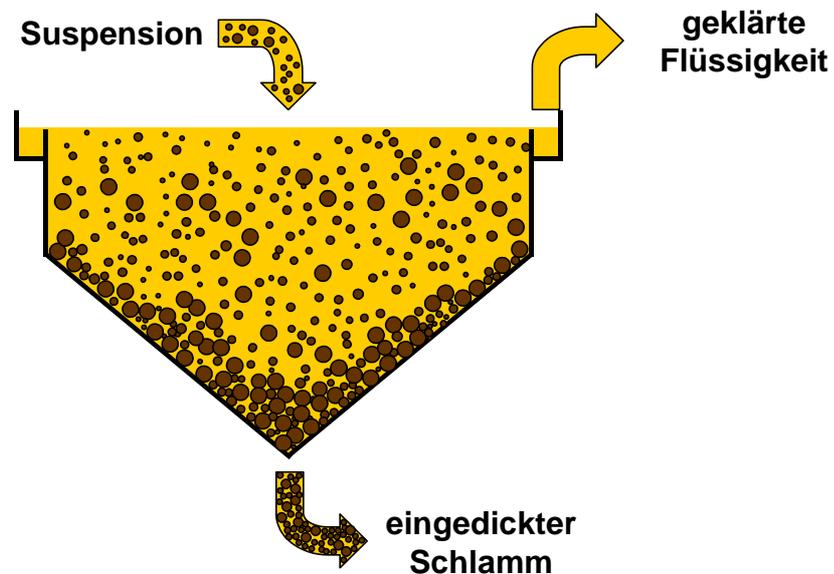
Bei der diskontinuierlichen Sedimentation werden einzelne Behälter mit zumeist mehreren hundert Litern Fassungsvermögen mit Trüböl befüllt und die Partikel sedimentieren oft über einen Zeitraum von mehreren Wochen. Die geklärte Flüssigkeit wird häufig durch Schwimmsaugung wenige Zentimeter unter dem Flüssigkeitsspiegel entnommen, um Partikel mit geringerer Dichte als die Flüssigkeit nicht mit zu entfernen. Die Entnahme des Sediments erfolgt manuell. Vor allem die Entfernung des Sediments bei Batch-Verfahren und die Reinigung der Sedimentationsbehälter ist arbeitsintensiv. Abbildung 8 zeigt schematisch das Verfahren der diskontinuierlichen Sedimentation.



Quelle: nach Anlauf (1991)

Abbildung 8: Prinzip der diskontinuierlichen Sedimentation

Bei der kontinuierlichen Sedimentation erfolgt die Zugabe der Suspension, die Entnahme der geklärten Flüssigkeit und die Entfernung der aufkonzentrierten Feststoffe zeitgleich. Abbildung 9 zeigt schematisch das Verfahren der kontinuierlichen Sedimentation.



Quelle: nach Anlauf (1991)

Abbildung 9: Prinzip der kontinuierlichen Sedimentation

Für die kontinuierliche Sedimentation von Rapsöl wurde an der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik ein vierstufiges Absetzverfahren entwickelt [42] [31] [40]. Abbildung 10 zeigt eine schematische Darstellung des „Sedimentationssystems Weihenstephan“.

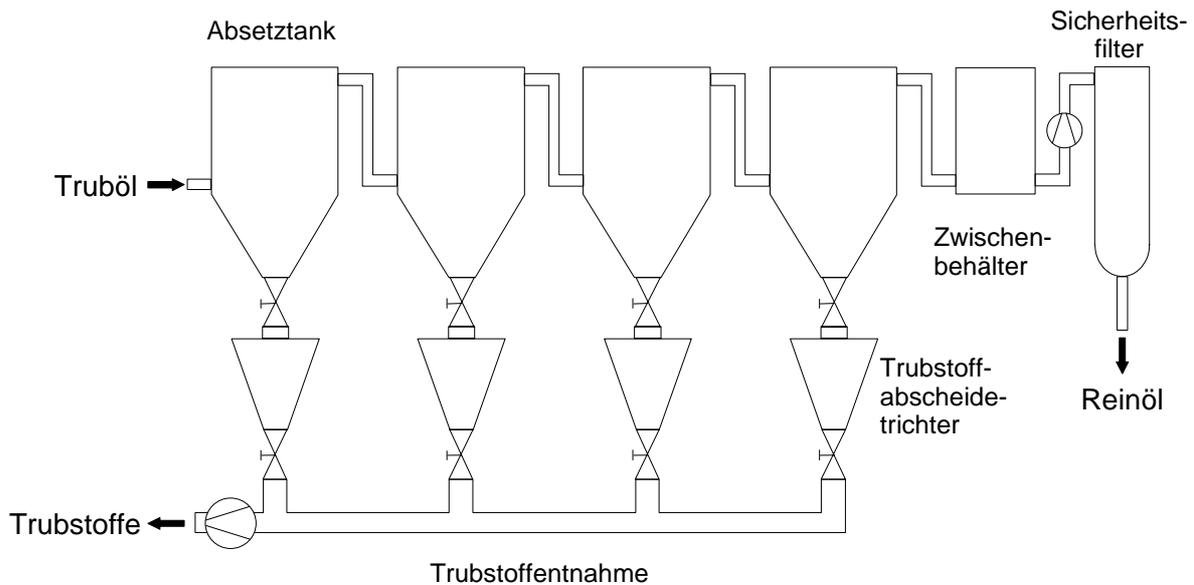
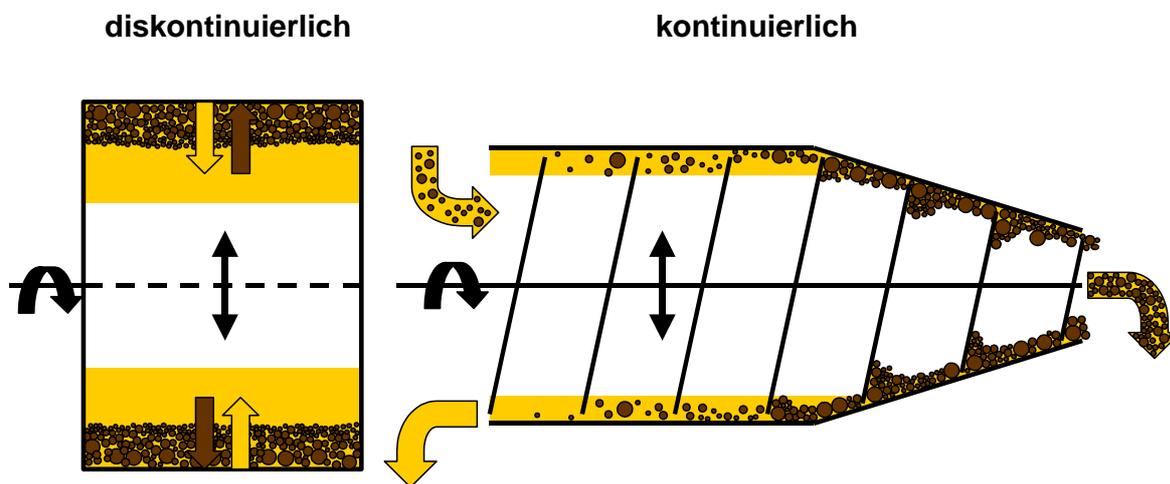


Abbildung 10: Kontinuierliches Sedimentationsverfahren für Pflanzenöle – „System Weihenstephan“ [42]

Hierbei durchströmt das Trüböl vier Absetzbehälter, die über Rohrverbindungen miteinander kommunizieren. Der zweite, dritte und vierte Absetzbehälter wird jeweils vom Überlauf aus dem vorigen Behälter im unteren Bereich befüllt. Das Sedimentationssystem sollte in Abhängigkeit der Verarbeitungskapazität der Ölpresse hinsichtlich seines Behältervolumens auf eine Ölverweilzeit von etwa vier Tagen ausgelegt sein. Ist das Sedimentationssystem nach der Anlaufphase gefüllt, tritt das Ölvolumen, das der von der Presse zugeführten Menge Trüböl entspricht, in weitgehend gereinigter Qualität aus dem vierten Absetztank aus. Da dieses Öl noch Feinstpartikel enthält, die durch die kontinuierliche Strömung im System nicht abgeschieden werden, muss ein Filter mit definierter Porengröße (in der Regel zwischen 1 μm und 5 μm) und ausreichendem Schmutzaufnahmevermögen nachgeschaltet werden, der die gewünschte Reinheit sicherstellt. Die sedimentierten Trubstoffe sammeln sich in den Abscheidebehältern an und können von dort mit Hilfe einer für höherviskose Schlämme geeigneten Pumpe entnommen werden. Während der Trubstoffentnahme werden die Absetztanks über Absperrventile von den Trubstoffabscheidetrichtern getrennt.

Sedimentation im Zentrifugalfeld

Durch die auf die Partikel wirkende Zentrifugalkraft erhöht sich die Sinkgeschwindigkeit und damit verkürzt sich die Sedimentationsdauer. Eingesetzt werden Dekanter oder Separatoren; meist kommen sie jedoch in Kombination zum Einsatz. Die Auswahl der Apparate, die sowohl diskontinuierlich als auch kontinuierlich betrieben werden können, erfolgt in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt und der Partikelgrößen. Abbildung 11 zeigt schematisch die Verfahren der Sedimentation im Zentrifugalfeld. Die Sedimentation im Zentrifugalfeld ist bei dezentralen Ölgewinnungsanlagen aufgrund der meist hohen Investitionskosten wenig verbreitet.



Quelle: nach Anlauf (1991)

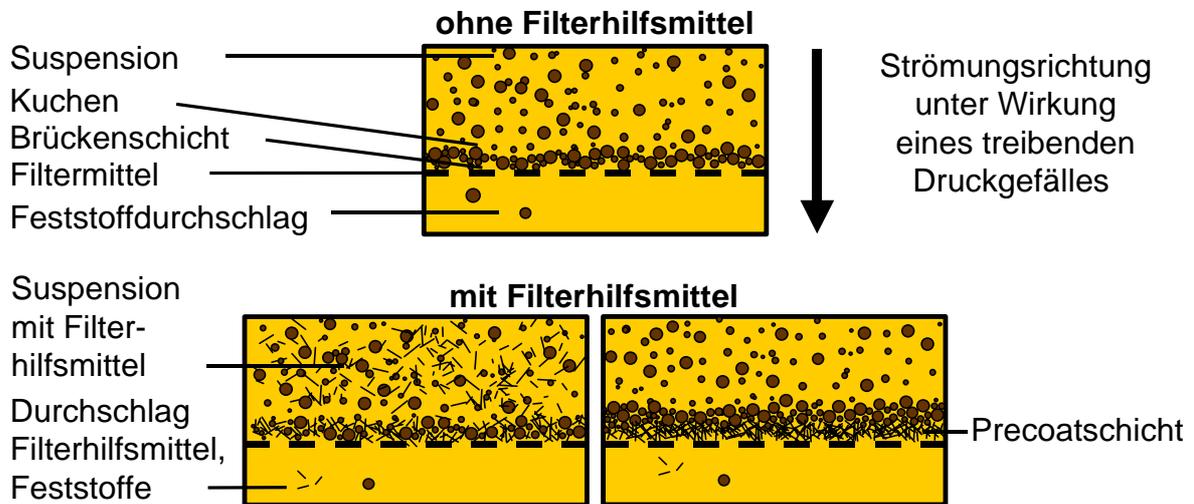
Abbildung 11: Prinzip der diskontinuierlichen und kontinuierlichen Sedimentation im Zentrifugalfeld

2.3.2 Filtration

Nach der Art der Feststoffabscheidung lassen sich Filtrationsverfahren einteilen in kuchenbildende Filtration, Querstromfiltration und Tiefenfiltration [6]. Die Querstromfiltration (cross-flow-Filtration) wird hauptsächlich zur Aufkonzentrierung von Suspensionen eingesetzt und hat bei der Reinigung von Pflanzenölen keine Bedeutung.

Kuchenbildende Filtration

Die Feststoffe in der Suspension werden bei der kuchenbildenden Filtration unter der Wirkung eines Druckgefälles an einem porösen Filtermaterial (z. B. Gewebe, Vliese, Metallmembranen) zurückgehalten. Sie bilden dabei Brücken und wachsen zu einem Filterkuchen an. Das Prinzip der kuchenbildenden Filtration zeigt Abbildung 12.



Quelle: nach Anlauf (1991)

Abbildung 12: Prinzip der kuchenbildenden Filtration

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

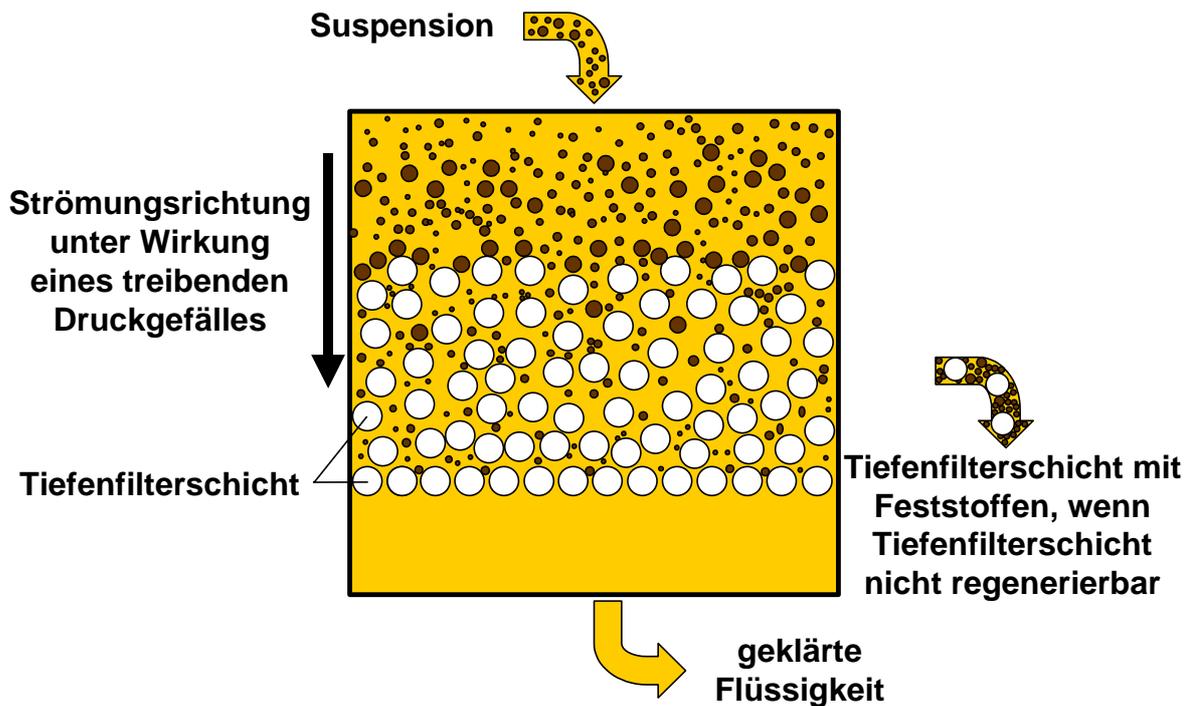
Das Rückhaltevermögen eines Filtermittels wird häufig als absolute oder nominale Filterfeinheit angegeben. Die absolute Filterfeinheit nennt den Durchmesser der größten, harten kugelförmigen Partikel, die das Filtermittel unter stationären Durchflussbedingungen passieren können. Die nominale Filterfeinheit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

Der Filterkuchen, der sich im Laufe des Filtrationsprozesses aufbaut, übernimmt die Funktion des Filtermittels. Zur Verbesserung der Brückenbildung können Filterhilfsmittel (z. B. Cellulose, Kieselgure) eingesetzt werden. Bei der Anschwemmfiltration wird vor dem eigentlichen Filtrationsvorgang eine Filterhilfsmittelschicht auf dem Filter angeschwemmt (Precoatschicht). Die Anschwemmfiltration ist im Übergangsbereich zwischen kuchenbildender und Tiefenfiltration anzusiedeln.

Tiefenfiltration

Bei der Tiefenfiltration werden grobporige Filterhilfsmittelschichten eingesetzt, in deren Innerem sich die Feststoffe festsetzen sollen. Abbildung 13 zeigt eine schematische Darstellung der Tiefenfiltration. Die Tiefenfilterschichten können unter anderem aus einer Schüttung, zum Beispiel Sand, aus einer Precoatschicht bei der Anschwemmfiltration, zum Beispiel Kieselgur, oder aus maschinell gefertigter Pappe, zum Beispiel aus Zellstoffen, bestehen. Da oft eine Regenerierung der Tiefenfilterschichten nicht möglich ist, müssen diese, wenn die innere Oberfläche belegt ist, beziehungsweise die Druckdifferenz zu hoch wird, ausgetauscht werden.

[6]



Quelle: nach Anlauf (1991)

Abbildung 13: Prinzip der Tiefenfiltration

Filterapparate zur Reinigung von Pflanzenölen

Bei der Pflanzenölgewinnung in dezentralen Anlagen werden zur Hauptreinigung zumeist Kammer- oder Rahmenfilterpressen sowie Vertikal-Druckkerzenfilter eingesetzt. Bei der Sicherheitsfiltration werden in der Regel Einzelkerzenfilter oder Beutelfilter verwendet; in seltenen Fällen Schichtenfilter.

Kammer- und Rahmenfilterpressen

Abbildung 14 zeigt den Aufbau und die Funktion einer Kammerfilterpresse. Kammer- und Rahmenfilterpressen bestehen aus parallel aufgehängten Filterplatten mit einem dazwischen eingespannten Filtermittel (Filtertücher). Das Filterplattenpaket wird zwischen einer festen und einer beweglichen Druckplatte meist hydraulisch zusammengespant.

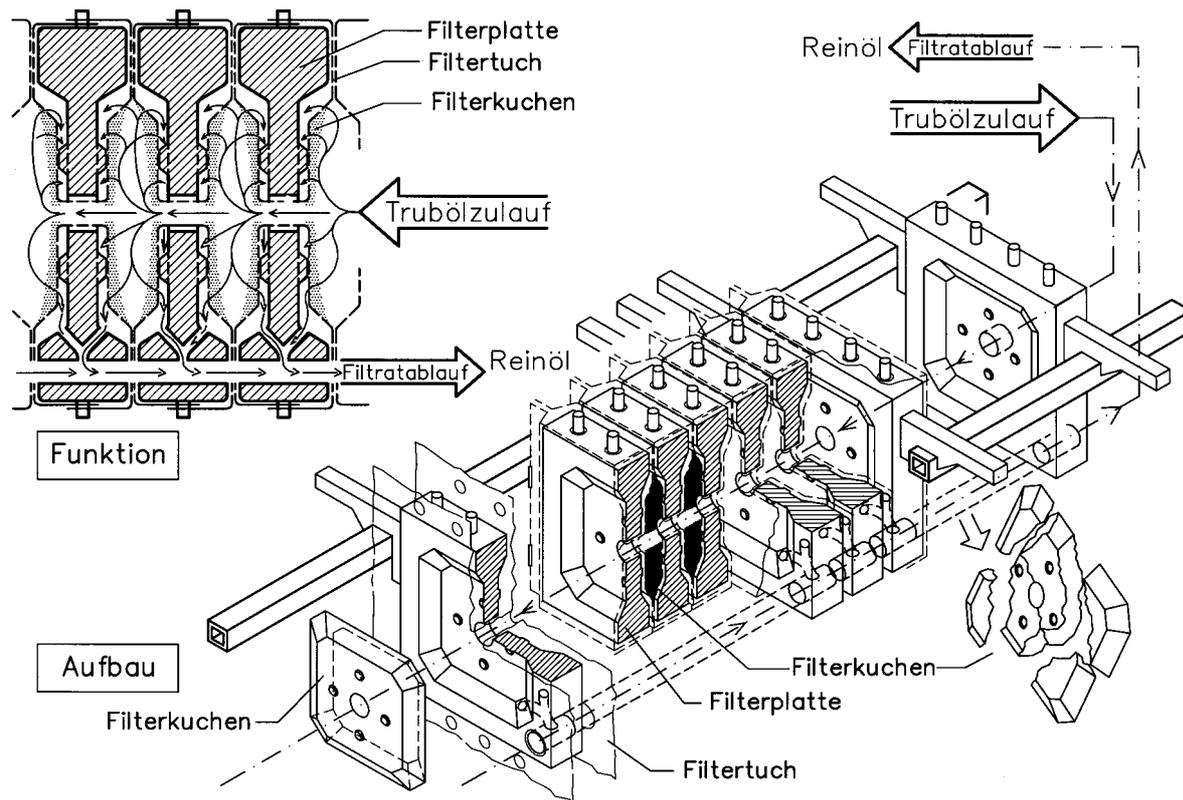


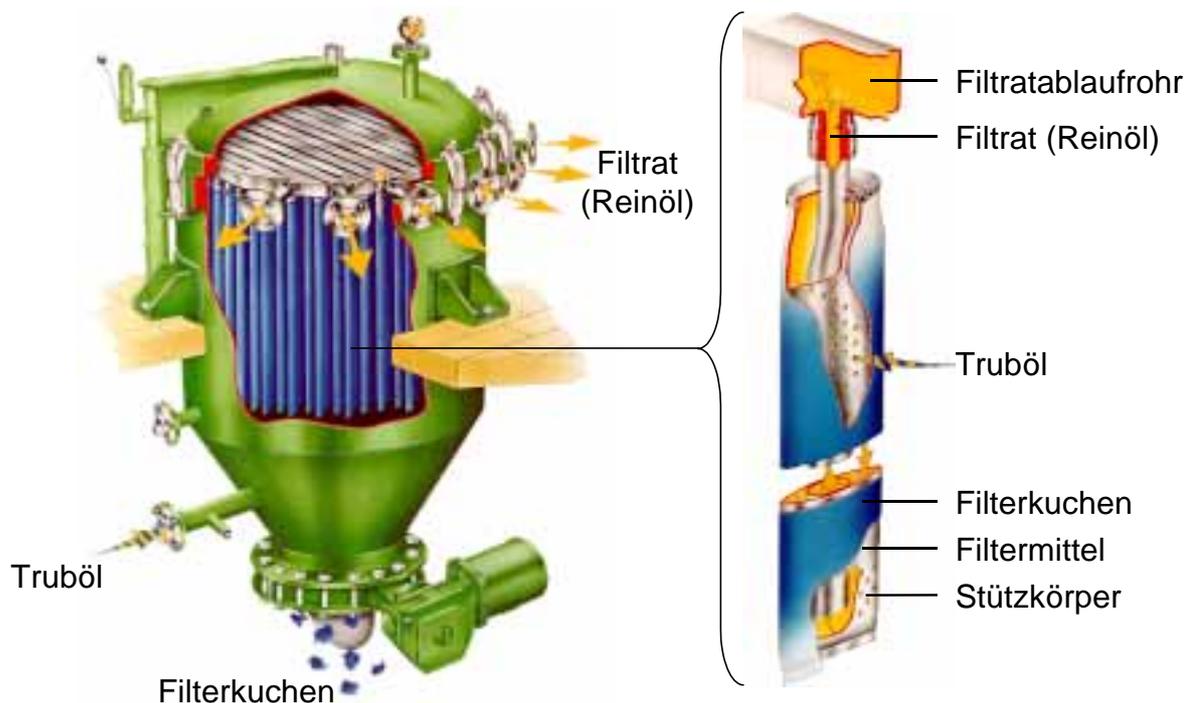
Abbildung 14: Aufbau und Funktion einer Kammerfilterpresse

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

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

Vertikal-Druckkerzenfilter

In dezentralen Ölgewinnungsanlagen kommen häufig Vertikal-Druckkerzenfilter, sogenannte Cricketfilter des Herstellers Amafilter, zum Einsatz. Diese Vertikal-Druckkerzenfilter bestehen aus einem Filtergehäuse in dem zahlreiche kerzenförmige Filterelemente vertikal angeordnet sind. Den Aufbau und die Funktion der Cricketfilter zeigt Abbildung 15.



Quelle: Amafilter B.V., Alkmaar (Niederlande)

Abbildung 15: Aufbau und Funktion eines Vertikal-Druckkerzenfilters

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

ist vollautomatisierbar. Die Steuerung des Anschwemmens des Filterkuchens erfordert vom Anlagenbetreiber jedoch ein großes Maß an Erfahrung.

Beutelfilter

Beutelfilter sind technisch einfach aufgebaute Filter, die zur Abtrennung großer Mengen an groben Partikeln oder zur Endfiltration (Sicherheitsfiltration) bei sehr geringen Feststoffkonzentrationen eingesetzt werden. Abbildung 16 zeigt Aufbau und Funktion eines Beutelfilters. Beutelfilter arbeiten mit einem durch eine Pumpe erzeugten Flüssigkeitsdruck. Das als Beutel geformte Filtermittel besteht häufig aus Nadelvlies und ist in einen stützenden Filterkorb aus Drahtgewebe eingelegt. Der obere Rand des Filterbeutels ist gegen den Filterkorb abgedichtet. Das Trüböl durchströmt den Filterbeutel von innen nach außen. Filtergehäuse für Beutelfilter werden in unterschiedlichen Bauformen angeboten.

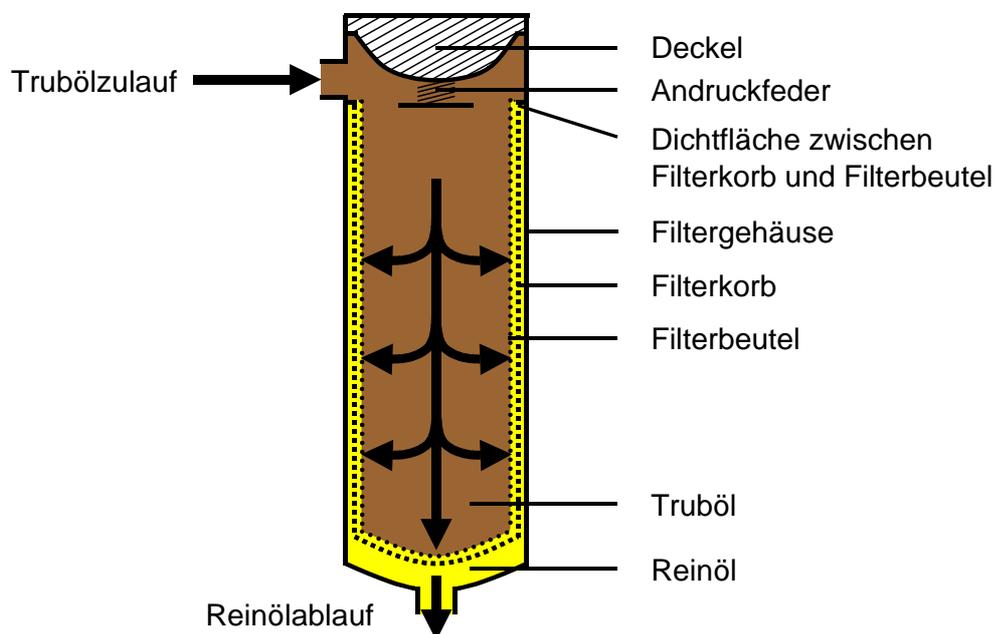


Abbildung 16: Aufbau und Funktion eines Beutelfilters

Einzelkerzenfilter

Einzelkerzenfilter bestehen aus einem Filtergehäuse und der eigentlichen Filterkerze, die meist aus einem zylindrischen Stützkörper besteht der vom Filtermittel umgeben ist. Als Kerzenwicklungen kommen zum Beispiel natürliche und synthetische Fasern zum Einsatz. Aufbau und Funktion eines Kerzenfilters zeigt Abbildung 17. Die Filterkerze wird von außen nach innen vom Trüböl durchströmt. Die Filterkerze ist an ihrem oberen Ende zum Filtergehäuse hin abgedichtet.

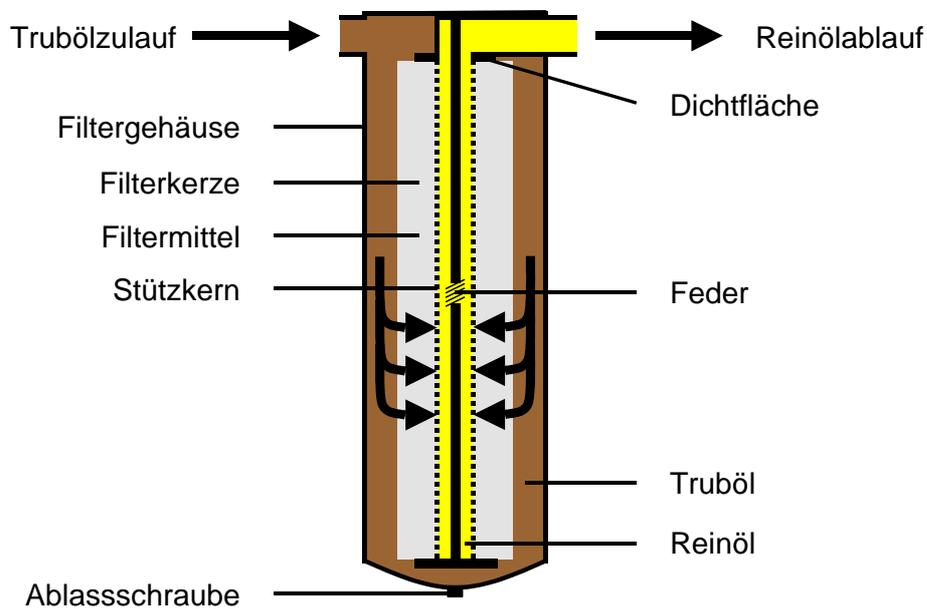
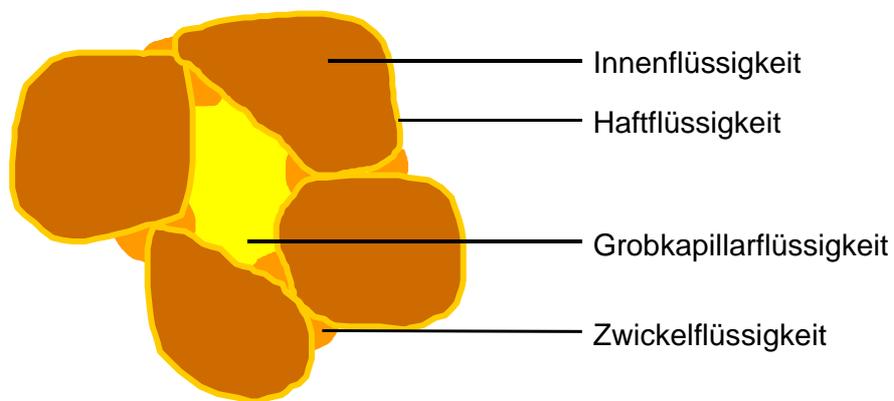


Abbildung 17: Aufbau und Funktion eines Einzelkerzenfilters

Neben dem Ziel einen hohen Anteil an Feststoffen bei der Fest/Flüssig-Trennung abzuscheiden, ist ein weiteres Ziel den Ölanteil im abgetrennten Feststoff zu minimieren.

2.3.3 Entfeuchtung des Filterkuchens

Um möglichst viel Öl aus dem Filterkuchen, der bei der Filtration mit Vertikal-Druckkerzenfilter sowie Rahmen- und Kammerfilterpressen entsteht, auszutreiben, wird häufig ein Gasdruckgefälle, zum Beispiel durch Beaufschlagung mit Druckluft angelegt. Dass der Entfeuchtung des Filterkuchens Grenzen gesetzt sind, veranschaulicht Abbildung 18.



Quelle: nach Anlauf (1991]

Abbildung 18: Flüssigkeitsverteilung in einem Filterkuchen

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

2.4 Analytik von Ölen und Feststoff-Rückständen

Der Erfolg eines Reinigungsverfahrens lässt sich beschreiben durch den Vergleich der Eigenschaften des Trüböls mit denen des erzeugten Reinöls. Die Partikelmenge im Öl wird beschrieben durch eine Massenkonzentration im Öl; die Größe der Feststoffe durch die Partikelgrößenverteilung im Öl. Bei der Hauptreinigung fällt zudem ein Rückstand an Feststoffen (Sediment oder Filterkuchen) an, der durch seinen Ölgehalt charakterisiert werden kann.

Für die Bestimmung der Partikelmenge im Öl („Unlösliche Verunreinigungen“ C-III 11a (84) [10], „Gesamtverschmutzung“ DIN EN 12662 [12]) und des Ölgehalts im Filterkuchen („Restölgehalt“ B-II 4a (98) [11]) stehen standardisierte Verfahren zur Verfügung. Die Analyse der Partikelgrößenverteilung in Pflanzenölen wurde von REMMELE et al. [29] beschrieben.

3 Zielsetzung

Im Untersuchungsvorhaben „Reinigung kaltgepresster Pflanzenöle aus dezentralen Anlagen“, gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, soll der Verfahrensschritt Reinigung bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung von Raps untersucht werden, um dadurch die Abstimmung des Reinigungsverfahrens auf den Ölgewinnungsprozess verbessern zu können.

Hierzu sollen zunächst der Einfluss der Ölsaaten und des Ölgewinnungsprozesses an einer Schneckenpresse vom Typ Komet DD 85 G des Herstellers IBG Monforts auf Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl als Ausgangsparameter für die Prozessführung bei der Ölreinigung ermittelt werden. Variiert werden sollen als Eingangsgröße die Eigenschaften der Rapssaaten (Sorte, Anbauverfahren) und unterschiedliche Prozessparameter beim Pressvorgang (Bautyp und Verschleißgrad der Pressgarnitur, Presskopftemperatur, Pressschneckendrehzahl, Pressdüsendurchmesser und Beladung der Pressschnecke).

Anschließend soll die Filtration von Trüböl mit einer Kammerfilterpresse durch Variation der Eingangsgrößen Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl und der Prozessparameter Filtermittel und Filterhilfsmittel auf die Zielgrößen Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Reinöl untersucht werden. Ergänzend sollen wichtige Prozessparameter dokumentiert werden.

An einer Weiterentwicklung eines von der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik vorgestellten kontinuierlichen Sedimentationssystems soll die Abscheidewirkung anhand der Zielgrößen Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung geprüft werden.

Abschließend sollen verschiedene Sicherheitsfilter für die Anwendung bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung recherchiert und auf ihre Rückhaltewirkung unter Dokumentation der Eingangsgrößen des Trüböls und wichtiger Prozessparameter untersucht werden.

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Reinigungsverfahren kann im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens, dessen Schwerpunkt auf verfahrenstechnischen Aspekten liegt, nicht erfolgen. Die Filterstandzeiten und damit die Wirtschaftlichkeit werden stark beeinflusst durch die Partikelmenge und die Partikelverteilung im zu reinigenden Öl sowie von der Filterfläche. Ein Betrieb der Filter mit abgestuften Trübölqualitäten, jeweils bis zur Filtererschöpfung, ist nicht Gegenstand des Untersuchungsvorhabens.

4 Material und methodisches Vorgehen

4.1 Rapssaat

Für die Untersuchung des Einflusses der Ölsaart auf die Partikelmenge (Gesamtverschmutzung) und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl wurden 27 Rapssaaten verarbeitet, davon stammen 21 aus Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau und sechs aus Beständen der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik. Die Anbaubedingungen und die Eigenschaften der Rapssaaten sind in Tabelle 3 bis Tabelle 6 wiedergegeben.

Mit einer einheitlichen Charge Rapssaat der Sorte Mohican aus dem Erntejahr 2000 wurde der Einfluss der Ölpresung auf die Eigenschaften des Trüböls ermittelt. Der Winterraps wurde nach der Ernte auf etwa 7 Masse-% Wassergehalt getrocknet und wies zum Zeitpunkt der Verarbeitung einen Wassergehalt von 6,3 bis 6,7 Masse-% auf. Die durchschnittliche Saattemperatur bei der Verarbeitung betrug 20 °C.

Für die Durchführung der Filtrationsversuche wurden Rapsöle aus unterschiedlichen Rapssorten und Herkünften eingesetzt.

Tabelle 2: Kurzbeschreibung der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]

Sorte/ Kennzeichnung	Ernte	Saat- zeitpunkt	Saatdichte	Pflanzenschutz Düngung
Express o.B.	WR	normal	70 Körner/m ²	—
Express m.B.	WR	normal	70 Körner/m ²	Folicur 0,5 l/ha Derosal 0,5 l/ha 20 kg N/ha als Blattdüngung
Artus ¹⁾ o.B.	WR	normal	50 Körner/m ²	—
Artus ¹⁾ m.B.	WR	normal	50 Körner/m ²	Folicur 0,5 l/ha Derosal 0,5 l/ha 20 kg N/ha als Blattdüngung
Zenith o.B.	WR	normal	70 Körner/m ²	—
Zenith m.B.	WR	normal	70 Körner/m ²	Folicur 0,5 l/ha Derosal 0,5 l/ha 20 kg N/ha als Blattdüngung
Pronto ¹⁾ o.B.	WR	normal	50 Körner/m ²	—
Pronto ¹⁾ m.B.	WR	normal	50 Körner/m ²	Folicur 0,5 l/ha Derosal 0,5 l/ha 20 kg N/ha als Blattdüngung
Rapid o.B.	WR	normal	70 Körner/m ²	—
Artus ¹⁾ 60 K.	WR	spät	60 Körner/m ²	—
Artus ¹⁾ 100 K.	WR	spät	100 Körner/m ²	—
Rapid 60 K.	WR	spät	60 Körner/m ²	—
Rapid 100 K.	WR	spät	100 Körner/m ²	—
Star 100 kg	SR	—	120 Körner/m ²	100 kg N/ha
Star 150 kg	SR	—	120 Körner/m ²	150 kg N/ha
Star 200 kg	SR	—	120 Körner/m ²	200 kg N/ha
Star 250 kg	SR	—	120 Körner/m ²	250 kg N/ha
Hyola 401 ¹⁾²⁾ 100 kg	SR	—	120 Körner/m ²	100 kg N/ha
Hyola 401 ¹⁾²⁾ 150 kg	SR	—	120 Körner/m ²	150 kg N/ha
Hyola 401 ¹⁾²⁾ 200 kg	SR	—	120 Körner/m ²	200 kg N/ha
Hyola 401 ¹⁾²⁾ 250 kg	SR	—	120 Körner/m ²	250 kg N/ha

1) restaurierte Hybride

2) hoch ölsäurehaltig

WR: Winterraps

SR: Sommerraps

o.B.: ohne Behandlung

m.B.: mit Behandlung

Tabelle 3: Standortbeschreibung und Anbaubedingungen der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]

Standortbeschreibung und Anbaubedingungen	Winterraps	Sommerraps
Versuchsort	Frankendorf	Pulling
Niederschlag [mm] langjähriges Jahresmittel	878	814
mittlere Tagestemperatur [°C] langjähriges Jahresmittel	7,5	7,7
Höhe über NN [m]	450	450
Bodenart	uL*	tL**
Bodenzahl	80	48
N _{min} 0-90 [kg/ha]	28	58
P ₂ O ₅ [mg/100g]	21	20
K ₂ O	26	11
pH-Wert	6,8	7,5
Vorfrucht	Sommergerste	Hafer
Aussaat normal	20.08.1998	26.03.1999
spät	10.09.1998	
Ernte	17.07.1999	09.08.1999

* uL: schluffiger Lehm ** tL: toniger Lehm

Tabelle 4: Düngung und Pflanzenschutz bei den Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7]

Pflanzenbaul. Maßnahmen	Winterraps	Sommerraps
Düngung		
N _{min} -Gehalt [kg/ha]	28	58
N Düngung [kg/ha]	100 (04.03.1999) 60 (31.03.1999) Σ=160	bis 100 kg N/ha: Bor-Ammonsulfatsalpeter (12.04.1999) über 150 - 250 kg N/ha: zusätzlich Kal-kammonsalpeter (18.05.1999)
P ₂ O ₅ [kg/ha]	140 (17.08.1998)	120 (24.03.1999)
K ₂ O [kg/ha]	180 (17.08.1998)	180 (24.03.1999)
MgO [kg/ha]	104 (17.08.1998)	—
Pflanzenschutz		
Butisan Top [l/ha]	2,0 (01.09.1998)	2,0 (13.04.1999)
Folicur E [l/ha]	1,0 (26.04.1999)	Mischprobe aus verschiedenen Behandlungsstufen
Decis flüssig [l/ha]	0,3 (16.03.1999)	0,3 (13.05.1999) 0,3 (25.05.1999)
Karate [l/ha]	0,1 (01.04.1999)	0,2 (23.04.1999)
Karate WG [l/ha]	0,1 (26.04.1999)	0,1 (31.05.1999)

Tabelle 5: Eigenschaften der Rapssaaten aus den Anbauversuchen der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau [7] und eigene Analysen

Sorte/ Kenn- zeichnung	Ertrag dt/ha	TKG g	TS Ernte %	TS Probe %	TKG b.V. g	Feuchte b.V. %	Ölge- halt TS %	Scle- rotinia *
Express o.B.	46,7	4,4	89,1	95,2	3,97	7,93	42,8	1
Express m.B.	48,8	4,3	89,6	95,7	4,02	6,99	42,4	1
Artus o.B.	55,4	4,8	87,9	95,0	4,59	9,98	39,8	2
Artus m.B.	60,8	4,9	86,5	95,7	4,74	8,26	39,0	2
Zenith o.B.	49,3	5,1	88,5	95,1	4,87	6,89	42,2	3
Zenith m.B.	54,5	5,1	88,4	95,8	4,82	7,67	42,1	3
Pronto o.B.	53,0	4,7	87,2	95,1	4,17	7,76	40,6	3
Pronto m.B.	56,8	4,8	86,0	95,8	4,15	7,34	41,7	3
Rapid o.B.	47,5	4,7	88,8	95,3	4,33	7,16	42,0	2
Artus 60 K.	40,9	4,3	87,0	94,7	4,17	8,20	39,6	3
Artus 100 K.	38,8	4,5	86,3	94,5	4,16	7,65	39,1	3
Rapid 60 K.	44,2	4,1	88,7	94,7	3,97	6,95	40,9	2
Rapid 100 K.	37,6	4,1	88,7	94,5	4,03	7,03	41,3	2
Star 100 kg	32,1	3,3	n.e.	96,1	3,42	5,51	48,6	2
Star 150 kg	36,0	3,4	n.e.	95,6	3,27	6,98	47,1	3
Star 200 kg	37,2	3,3	n.e.	95,6	3,12	6,32	44,0	3
Star 250 kg	38,7	3,1	n.e.	96,3	3,26	6,59	42,6	4
Hyola 100 kg	30,0	3,5	n.e.	95,2	3,55	6,86	47,0	2
Hyola 150 kg	37,3	3,5	n.e.	94,8	3,62	6,87	46,6	2
Hyola 200 kg	39,4	3,5	n.e.	94,7	3,62	6,34	45,3	2
Hyola 250 kg	37,5	3,5	n.e.	95,7	3,25	6,76	44,7	3

Nr.: die Probencodierung bezieht sich auf Tabelle 2

TKG Tausendkorngewicht

TS Trockensubstanz

b.V. bei der Verarbeitung

* Bonitur: 1 geringer Befall bis 9 starker Befall

n.e. nicht ermittelt

Tabelle 6: Eigenschaften der Rapssaaten aus Beständen der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik

Sorte/ Kennzeich- nung	Erntejahr	TKG b.V. g	Feuchte b.V. Masse-%	Ölgehalt TS Masse-%
Idol 96	1996	3,80	7,90	44,13
Idol 97	1997	3,80	7,36	39,47
Wotan 97	1997	3,64	8,11	43,43
Wotan 98	1998	4,27	7,77	43,38
Mohican 99	1999	3,92	6,81	42,00
Express 99	1999	4,81	7,34	n.e.

TKG Tausendkorngewicht

b.V. bei der Verarbeitung

TS Trockensubstanz

n.e. nicht ermittelt

4.2 Ölgewinnung zur Erzeugung von Trübölen

Die Verarbeitung der beschriebenen Rapssaaten erfolgte in der Versuchsanlage zur dezentralen Ölgewinnung der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik. Bei der Ölpressen handelt es sich um eine Doppelspindelpresse Typ Komet DD 85 G, der Firma IBG Monforts. Die Ölgewinnungsanlage ist von WIDMANN (1994) [40] ausführlich beschrieben.

Trüböle zur Bestimmung des Einflusses der Rapssaat auf Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung

Die Verarbeitung der Rapsproben zur Bestimmung des Einflusses der Rapssaat auf Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl erfolgte mit einer Spindel der Doppelspindelpresse, die mit einer Pressdüse mit einer Bohrung von 8 mm Durchmesser bestückt war. Um den Einfluss der Rapssaat auf die Ölqualität zu erfassen, wurden die Einflussgrößen der Ölsaatenverarbeitung sowohl bei der Pressung als auch bei der Ölreinigung möglichst konstant gehalten. Als Parameter für die Ölpressung wurden sowohl die Pressschneckendrehzahl (40 min^{-1}) als auch die Presskopftemperatur (60 °C) vorgegeben. Die Presskopftemperatur wurde durch Beheizung oder Kühlung über ein Wasserbad geregelt. Die Schneckenbeladung betrug 100 %. Zur Überwachung des Ölgewinnungsprozesses wurden wichtige Prozessparameter über die Datenerfassung der Ölgewinnungsanlage aufgezeichnet. Die Prozessparameter bei der Ölsaatenverarbeitung der einzelnen Rapsproben zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Prozessparameter bei der Ölsaatenverarbeitung (Mittelwerte und Standardabweichung)

Sorte/ Kenn- zeichnung	Drehzahl Presse min ⁻¹		Press- kopftem- peratur °C		Saat- temperatur °C		Ölaustritts- temperatur °C		Ab- press- grad * %	Ölgehalt im Pk.* %
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
Express o.B.	40,0	0,13	59,3	1,29	18,4	0,86	33,6	0,81	76,3	15,1
Express m.B.	40,0	0,23	61,2	0,70	20,1	0,98	37,3	0,68	79,4	13,2
Artus o.B.	40,0	0,05	59,4	2,21	15,4	1,03	29,4	1,55	69,9	16,6
Artus m.B.	40,0	0,02	60,2	1,11	15,0	1,29	31,4	1,17	69,7	16,2
Zenith o.B.	40,0	0,25	60,0	0,29	16,7	0,60	31,9	0,74	77,2	14,3
Zenith m.B.	39,9	0,80	61,0	0,58	19,2	0,94	35,2	0,63	78,2	13,7
Pronto o.B.	40,0	0,04	59,8	1,49	17,6	0,82	34,3	1,06	71,5	16,3
Pronto m.B.	40,0	0,24	60,4	0,73	18,0	0,63	33,3	0,41	69,1	18,1
Rapid o.B.	40,0	0,30	60,1	1,02	16,1	0,82	32,4	1,23	76,2	14,7
Artus 60 K.	40,0	0,26	59,1	2,18	15,0	0,78	30,5	0,74	72,0	15,5
Artus 100 K.	40,1	0,25	59,5	1,41	13,2	0,95	30,4	0,89	75,9	13,4
Rapid 60 K.	40,0	0,27	69,6	0,51	14,9	0,55	31,9	0,73	79,0	12,7
Rapid 100 K.	40,1	0,07	59,2	4,31	17,3	1,50	32,9	1,12	n.e.	n.e.
Star 100 kg	40,0	0,23	59,6	0,93	19,6	0,70	36,7	0,66	72,9	20,4
Star 150 kg	40,0	0,25	60,7	0,73	18,8	0,44	35,2	0,52	69,9	21,1
Star 200 kg	40,0	0,09	61,2	0,91	17,6	0,62	34,6	0,88	71,5	18,3
Star 250 kg	40,0	0,23	61,6	1,31	19,2	0,96	35,7	1,37	71,5	17,5
Hyola 100 kg	40,0	0,33	60,0	0,65	17,3	0,62	34,3	0,72	72,7	19,5
Hyola 150 kg	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Hyola 200 kg	40,0	0,24	59,9	0,61	17,5	0,61	36,7	0,54	72,6	18,5
Hyola 250 kg	40,0	0,22	61,3	1,08	17,0	1,10	36,8	1,28	71,8	18,5
Idol 96	39,8	2,26	60,8	0,29	15,7	1,26	32,7	0,85	78,5	14,5
Idol 97	40,0	0,25	60,8	0,31	14,9	0,89	31,7	0,84	78,3	12,4
Wotan 97	40,0	0,28	60,1	0,27	13,7	0,72	29,6	0,90	74,5	16,4
Wotan 98	40,0	0,10	60,6	0,39	13,5	1,09	30,7	1,08	73,7	17,0
Mohican 99	40,0	0,26	60,2	0,47	14,4	0,78	31,9	1,00	87,5	8,3
Express 99	40,1	0,05	59,5	1,41	19,9	0,65	33,7	0,82	81,0	12,3

* berechnet

Pk Presskuchen

n.e. nicht ermittelt

Bei den Rapsproben Rapid 100 K. und Hyola 150 kg kam es zu einem teilweisen oder vollständigen Ausfall des Datenerfassungsprogramms, so dass die Messdaten nicht ausgewertet werden konnten.

Trüböle zur Bestimmung des Einflusses der Ölpresung auf Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung

Zur Ermittlung des Einflusses der Prozessparameter bei der Ölgewinnung auf die Partikelmenge und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl [20] wurden nach dem in Abbildung 19 dargestellten Versuchsplan Trübölproben hergestellt.

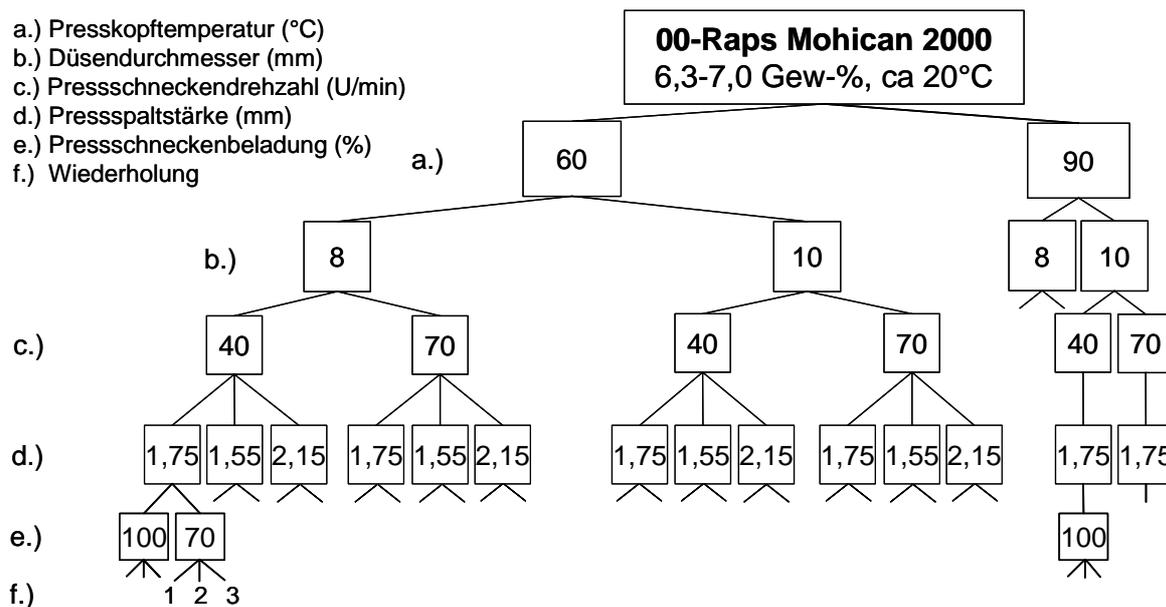


Abbildung 19: Versuchsvarianten bei der Ermittlung des Einflusses der Prozessparameter der Ölsaatenverarbeitung auf die Partikelmenge und Partikelgrößenverteilung im Trüböl

Variiert wurde die Presskopftemperatur in der Abstufung 60 °C und 90 °C. Der Schwerpunkt der Ölpresversuche wurde jedoch bei einer Presskopftemperatur von 60 °C durchgeführt, da höhere Presskopftemperaturen in der Praxis eher unüblich sind. Außerdem wurden Pressdüsen mit den Durchmessern 8 mm und 10 mm eingesetzt und die Pressschneckendrehzahl mit 40 min⁻¹ und 70 min⁻¹ variiert. Für die Ölpresversuche wurden zwei Pressgarnituren unterschiedlicher Bauart verwendet, die in Abbildung 20 dargestellt sind. Zum einen war dies eine Pressgarnitur der „alten Bauart A“, die nach ca. 5100 Betriebsstunden hohen Verschleiß aufwies, charakterisiert durch einen Pressspalt von 2,15 mm und eine Pressgarnitur der Bauart A, deren Verschleiß durch das Einsetzen von Distanzrin-

gen zum Teil kompensiert wurde und dadurch der Pressspalt auf 1,55 mm reduziert werden konnte. Zum anderen wurde eine fabrikneue Pressgarnitur des „neuen Bautyps B“ eingesetzt, deren Pressspalt 1,75 mm beträgt.

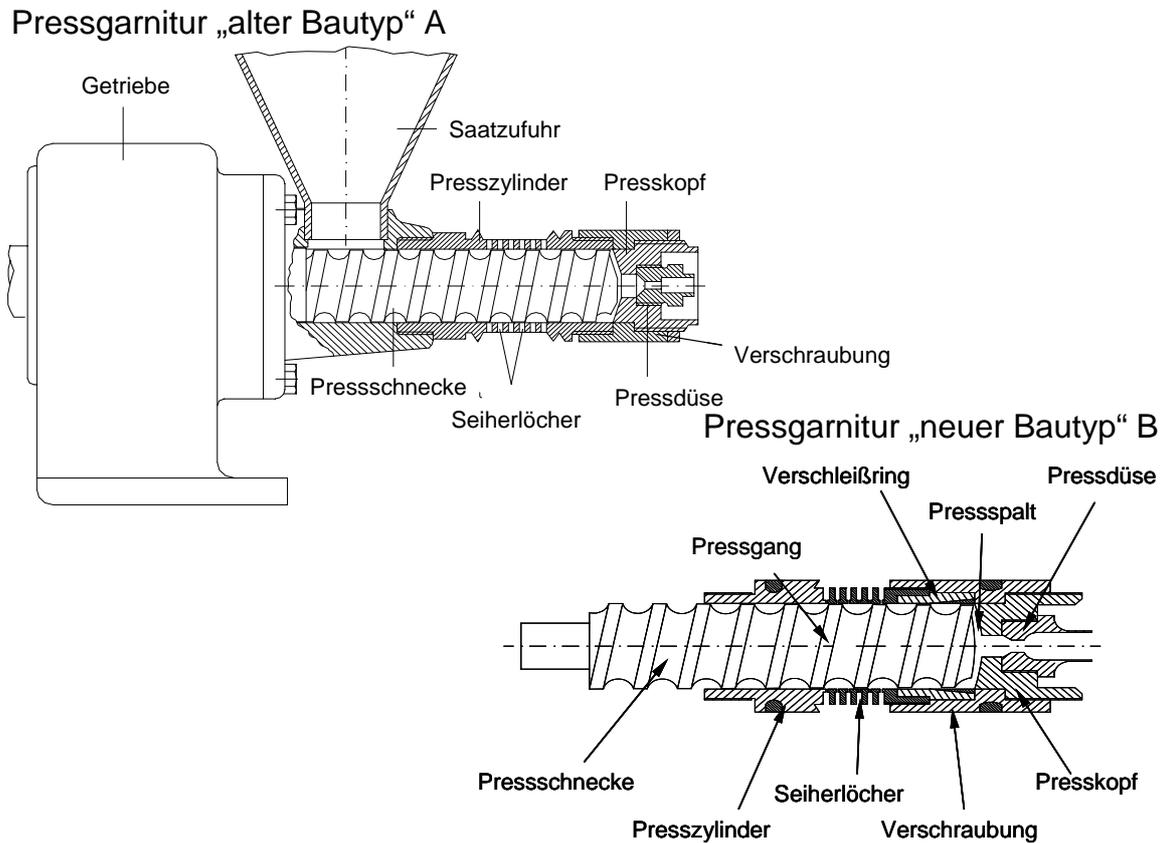


Abbildung 20: Pressgarnituren „alter Bautyp A“ und „neuer Bautyp B“ für die Öl-
presse Komet DD 85 G des Herstellers IBG Monforts

Als weitere Versuchsvariante wurde die Beladung der Schnecke mit Rapsaat in den Abstufungen 100 % und 70 % variiert. Da eine 70 % Beladung der Pressschnecke vom Ölpresenhersteller nicht vorgesehen ist, wurde hierzu ein Labor-Probenteiler mit Schüttelrinne als Dosiereinrichtung verwendet.

Zu jeder Versuchsvariante wurden drei Wiederholungen durchgeführt und die Trüböle jeder Wiederholung einzeln analysiert.

Trüböle für Filtrationsversuche

Zur Durchführung der Filtrationsversuche wurden sowohl Trüböle aus der Versuchsanlage zur dezentralen Ölgewinnung der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik, als auch Trüböle aus Praxisanalgen eingesetzt, um ein breites Spektrum an Trübölqualitäten abzudecken.

4.3 Kontinuierliches Sedimentationsverfahren

Die Bestimmung des Reinigungserfolgs eines kontinuierlichen Sedimentationsverfahrens erfolgte an zwei unterschiedlichen konstruktiven Ausführungen des „Sedimentationssystems Weihenstephan“. Beide Ausführungen basieren auf dem in Abbildung 10, Seite 25, gezeigten Sedimentationsverfahren mit vier miteinander kommunizierenden Sedimentationsbehältern und vier über eine Rohrleitung entleerbare Trubstoffabscheidebehälter.

Sedimentationssystem „alte Ausführung A“

Die ursprüngliche Bauform „A“ des Sedimentationssystems besteht aus vier quaderförmigen Sedimentationsbehältern, die jeweils in einen auf dem Kopf stehenden Pyramidenstumpf münden und über einen Absperrhahn mit den vier Trubstoffabscheidebehältern verbunden sind. Die Abscheidebehälter weisen wiederum die Form eines auf dem Kopf stehenden Pyramidenstumpfs auf. Das Volumen der Trubstoffabscheidebehälter wurde dem Volumen der in den einzelnen Sedimentationsbehältern anfallenden Trubstoffe angepasst. Das Sedimentationssystem ist in Abbildung 21 skizziert. Das Gesamtvolumen der Sedimentationsbehälter ist für eine Ölpresse mit einem Öldurchsatz von ca. 8 l/h ausgelegt und beträgt 750 l, das Volumen der Trubstoffabscheidebehälter 12 l, 9 l, 6 l und 3 l. Die theoretische Ölverweilzeit im System liegt bei etwa vier Tagen.

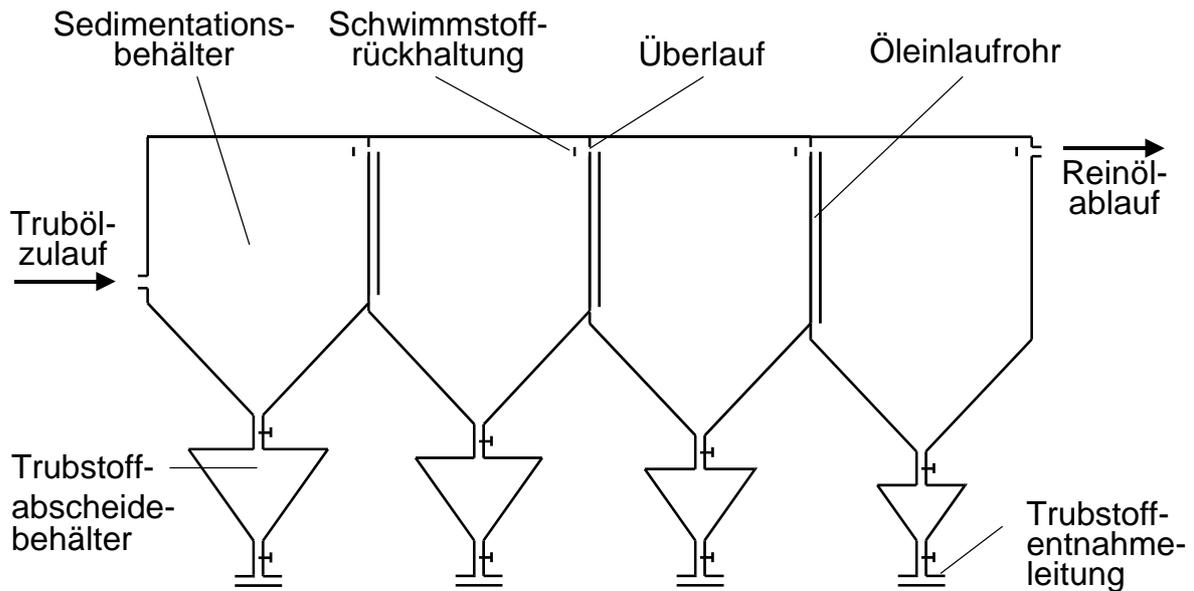


Abbildung 21: „Sedimentationssystem Weihenstephan“ alte Bauform „A“

Da sich im Betrieb zeigte, dass sich Partikel zum Teil an den Wandungen des Pyramidenstumpfes vor allem des ersten Sedimentationsbehälters absetzen und deshalb Verstopfungen verursachen können, wurde im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens an einer verbesserten konstruktiven Umsetzung des Sedimentationssystems gearbeitet.

Sedimentationssystem „neue Ausführung B“

Die Weiterentwicklung des Sedimentationssystems Bauform „B“ beruht auf der Ausführung der Sedimentations- und Trubstoffabscheidebehälter als Kegelstümpfe mit vergleichsweise spitzeren Winkeln und auf einer verbesserten Ölführung am Trübölzulauf und an den Überläufen. Weitere Details, wie zum Beispiel die Schwimmstoffrückhaltung, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden soll, wurden optimiert. Das weiterentwickelte Sedimentationssystem ist in Abbildung 22 schematisch dargestellt, die konstruktive Ausführung zeigt Abbildung 23.

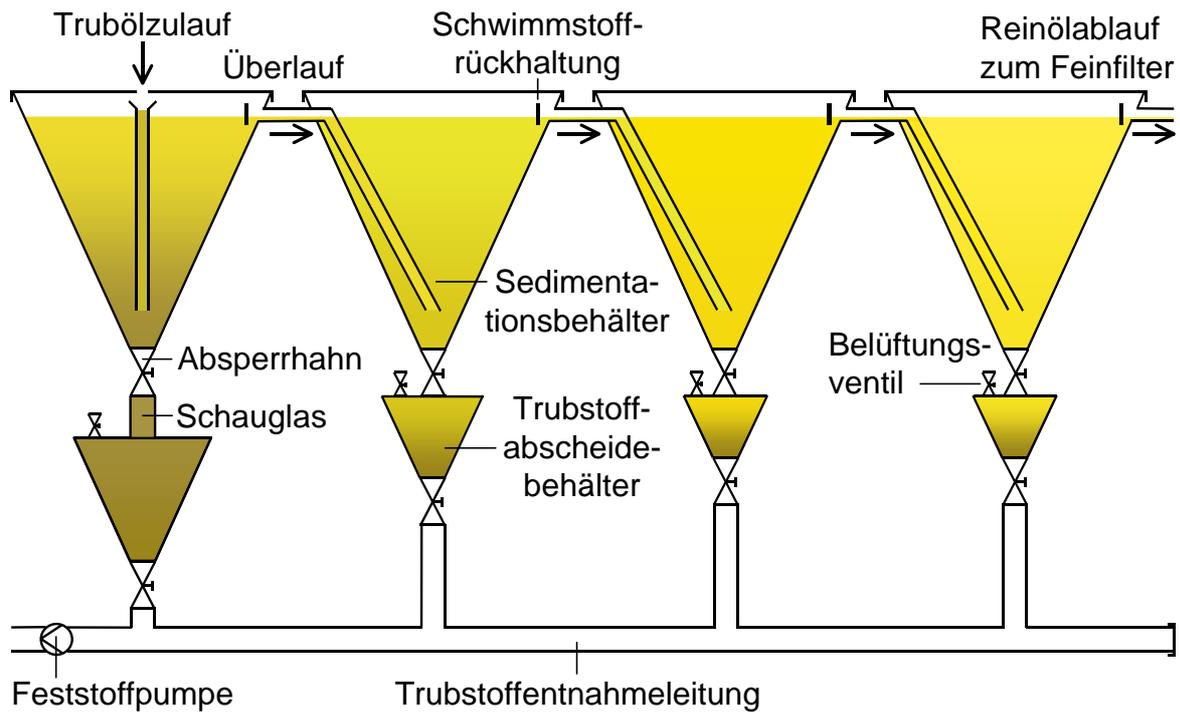


Abbildung 22: „Sedimentationssystem Weihenstephan“ neue Bauform „B“

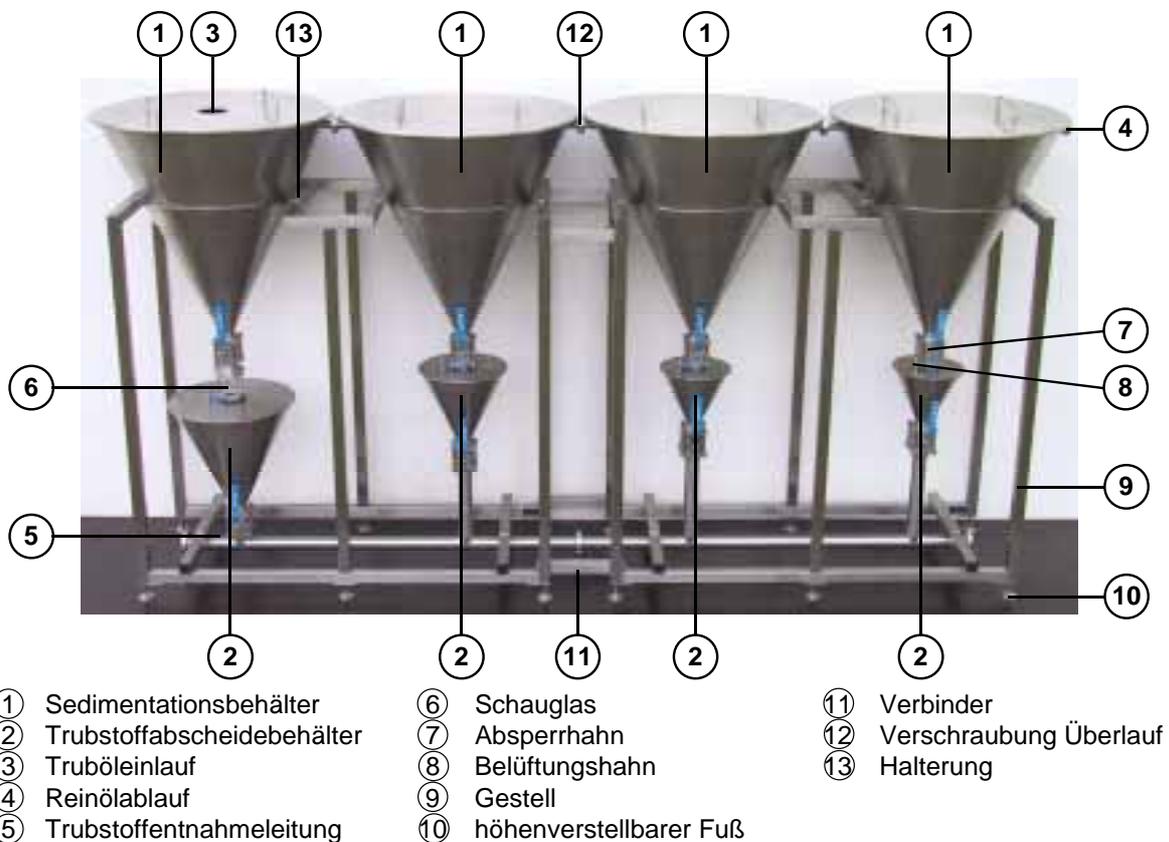


Abbildung 23: „Sedimentationssystem Weihenstephan“ neue Bauform „B“ – konstruktive Umsetzung

Das Volumen der Sedimentationsbehälter beträgt in der Auslegung für eine Ölpresse mit einem Öldurchsatz von ca. 5 l/h insgesamt 448 l. Die Trubstoffabscheidebehälter weisen ein Volumen von 24 l, 12 l und zweimal jeweils 4 l auf. Die theoretische Ölverweilzeit im System liegt bei etwa vier Tagen.

Versuchsdurchführung

Die Entnahme der Ölproben am Sedimentationssystem erfolgte durch möglichst isokinetische Absaugung mit Hilfe einer Schlauchpumpe wenige Millimeter unterhalb des Flüssigkeitsspiegels an den Sedimentationsbehältern 1 bis 3, beziehungsweise durch Auffangen des überlaufenden Öls am Sedimentationsbehälter 4. Die Probenahme des Trüböls, das mit dem Sedimentationssystem gereinigt werden sollte, erfolgte durch Auffangen am Ölauslauf der Ölpresse. Die Rapsölproben haben ein Gesamtvolumen von ca. 2,2 l. Als Probengefäß dient eine Flasche aus HDPE, mit einem Volumen von 2,5 l. Die Untersuchungen wurden an Anlagen im Praxisbetrieb durchgeführt, so dass auf die Betriebsparameter der Ölgewinnungsanlage kein Einfluss genommen werden konnte. Wichtige Daten zur Versuchsdurchführung sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Am Sedimentationssystem A erfolgten zwei Messungen, am Bautyp B wurde eine Messung durchgeführt.

Tabelle 8: Versuchsdaten zu den Untersuchungen an einem kontinuierlichen Sedimentationssystem

Nr.	Sedimentationssystem Ausführung	ausgelegt für Öldurchsatz von l/h	Ölpresse Typ	Öldurchsatz beim Versuch l/h
1	A	8	Komet DD 85 G	6,8
2	A	8	Komet DD 85 G	6,9
3	B	5	Strähle SK 60/1	7,1

Bei der Versuchsvariante 1 und 2 wurde die Ölpresses mit einem geringeren, bei der Versuchsvariante 3 mit einem höheren Öldurchsatz betrieben, als das Sedimentationssystem ausgelegt ist. Bei der Versuchsvariante 1 betrug die durchschnittliche Presskopftemperatur 63 °C und die Schneckendrehzahl 45 min⁻¹. Bei der Versuchsvariante 2 wurde im Durchschnitt eine Presskopftemperatur von 61 °C und eine Schneckendrehzahl von 44 min⁻¹ dokumentiert. Die Ölsaatenverarbeitung bei Versuchsvariante 1 und 2 erfolgte mit einer Pressdüse von 8 mm Durchmesser und einer Schneckenbeladung von 100 %. Für Versuchsvariante 3 konnten aufgrund des Praxisbetriebs keine weiteren Prozessdaten ermittelt werden.

4.4 Filtration mit einer Kammerfilterpresse

Für die Versuche zur Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse wurde ein Filterapparat KFP 470 des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Waldstetten eingesetzt. Die Kammerfilterpresse und ihre technischen Daten zeigt Abbildung 24.



Kammerfilterpresse

Modell: KFP 470

Typ: TF 470/10H

Höhe: 1555 mm

Breite: 920 mm

Länge: 1760

Betriebstemperatur max.: 45 °C

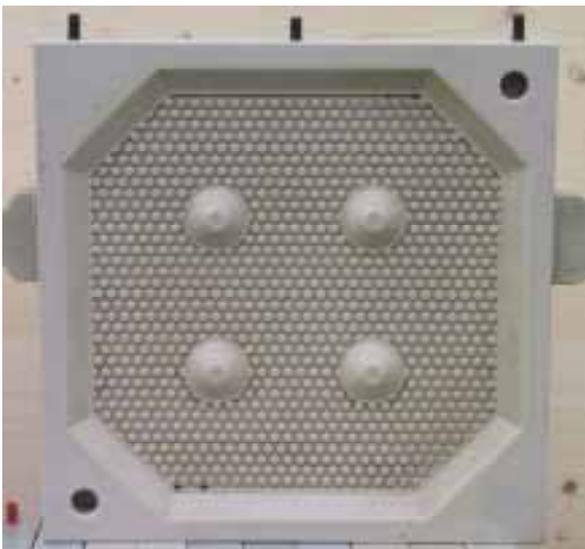
Betriebsdruck max.: 16 bar

für Trubrahmen: 470 mm • 470 mm

Abbildung 24: Kammerfilterpresse KFP 470 des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH

Die Kammerfilterpresse KFP 470 besteht aus einem fahrbaren Gestell mit einer Brücke, an deren einem Ende ein fester Deckel montiert ist und auf der die losen Trubrahmen mit einem verschiebbaren Deckel mit Hilfe eines Hydraulikaggregats zusammengepresst werden. Das Truböl wird durch eine Kolbenpumpe angesaugt und über eine Druckkessel den Trubrahmen zugeführt. Die Steuerung erfolgt über eine Druckschaltautomatik die über dem Druckkessel angebracht ist [35]. Der Betrieb erfolgt zunächst in einem Niederdruckmodus zwischen ca. 4 bar und 8 bar und schaltet mit zunehmender Verdichtung des Filterkuchens in einen Hochdruckmodus zwischen ca. 10 bar und 15 bar. Die Funktionsweise einer Kammerfilterpresse ist im Kapitel 2.3.2, Seite 29 beschrieben.

Das Filterpaket besteht aus einem Kopf- und einem Endrahmen, die mit End-Filtertüchern bestückt sind und dazwischenbefindlichen Trubrahmen die mit Durchsteck-Filtertüchern ausgestattet werden. Einen Trubrahmen für die Kammerfilterpresse KFP 470 zeigt Abbildung 25. Deutlich sind im Bereich der Filterfläche Noppen zu erkennen, die das Filtertuch stützen und einen leichten Filtratablauf ermöglichen. Die Bohrungen links unten und rechts oben in der Filterplatte dienen dem Filtratablauf.



Trubrahmen
aus Polypropylen

Höhe:	470	mm
Breite:	470	mm
Filterfläche bei 2 Trubrahmen und Kopf- und Endplatte:	0,96	m ²
Filterkuchenvolumen bei 2 Trubrahmen und Kopf- und Endplatte:	10,5	l

Abbildung 25: Trubrahmen für die Kammerfilterpresse KFP 470

Versuchsdurchführung

Die Filtrationsversuche mit der Kammerfilterpresse wurden mit einem Filterpaket bestehend aus jeweils einer Kopf- und Endplatte und zwei Trubrahmen durchgeführt. Dies entspricht einer Filterfläche von $0,96 \text{ m}^2$ und einem maximalen Filterkuchenvolumen von etwa $10,5 \text{ l}$. Diese vergleichsweise kleine Filterfläche wurde gewählt, um mit handhabbaren Rapsölmengen eine möglichst hohe Anzahl an Versuchsvarianten durchführen zu können. Pro Versuchsansatz sollten etwa 200 l Trüböl gefiltert werden. Der Versuchsaufbau zur Durchführung der Filtrationsversuche mit einer Kammerfilterpresse ist in Abbildung 26 dargestellt.

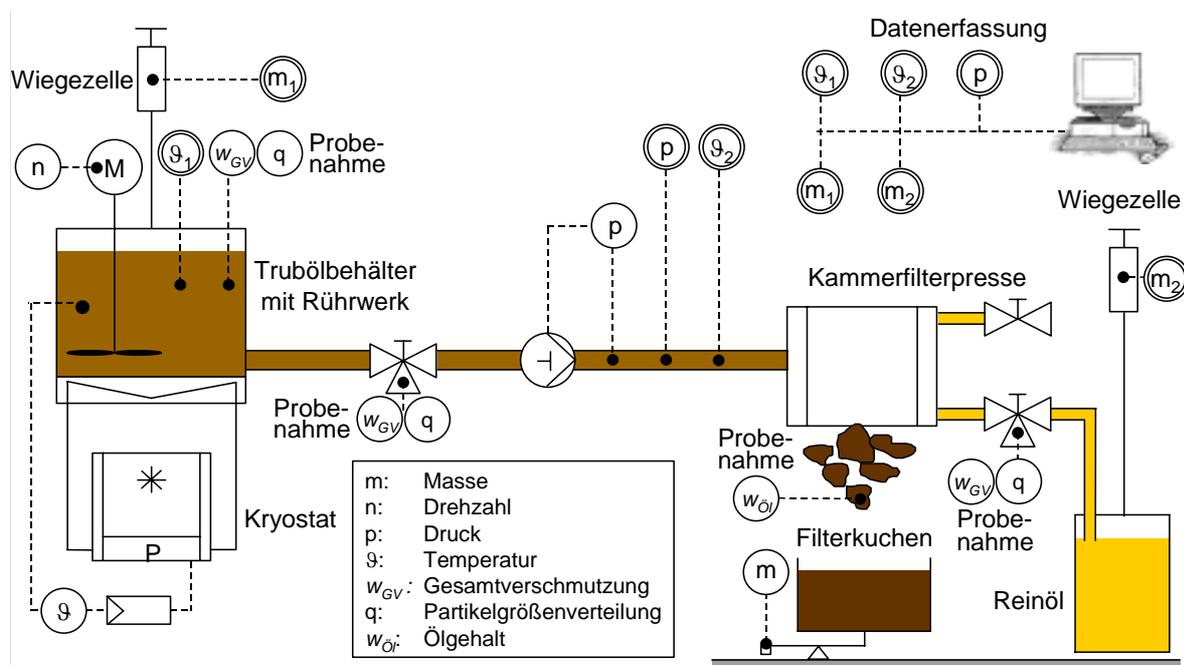


Abbildung 26: Versuchsaufbau zur Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse

Das Trüböl, das zum einen aus der Versuchsanlage zur dezentralen Pflanzenölgewinnung der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik und zum anderen aus Praxisanlagen stammte, wurde in einem Trübölbehälter auf eine Temperatur von $30 \text{ }^\circ\text{C}$ temperiert. Dies entspricht in etwa einer Viskosität von $48 \text{ mm}^2/\text{s}$. Das Trüböl wird mit einem Kryostat über eine Wärmetauscherfläche am Boden des Trübölbehälters beheizt. Die Temperaturregelung erfolgt durch den Kryostat mit einem

externen Temperatursensor im Truböl als Ist-Wert-Geber. Der Trubölbehälter ist mit einem Rührwerk ausgestattet, das ein Entmischen der festen und der flüssigen Phase verhindern soll. Die Drehzahl des Rührwerks wird der Beschaffenheit der Suspension angepasst. Um die Änderung Trubölmasse während des Filtrationsvorgangs erfassen zu können, ist der Trubölbehälter an einer Wiegezone aufgehängt. Das gereinigte Öl wird in einem Reinölbehälter gesammelt, der wiederum an einer Wiegezone zur Massenbestimmung aufgehängt ist. Zwischen Trubölpumpe und Kammerfilterpresse wird der Flüssigkeitsdruck erfasst. Die Überwachung der Truböltemperatur erfolgt im Trubölbehälter und in der Trubölleitung vor der Kammerfilterpresse. Mit einem Fluke Datalogger in Verbindung mit einem PC werden die Messdaten kontinuierlich erfasst. Für die Entnahme von Truböl- und Reinölproben sind mehrere Probenahmestellen vorgesehen. Am Ende des Filtrationsprozesses wird der Filterkuchen aus der Kammerfilterpresse entfernt und durch Wägung die Masse erfasst. Die Probenahme des Filterkuchens erfolgt, nachdem der Filterkuchen homogenisiert wurde, aus dem Auffangbehälter. Besonderheiten beim Filtrationsprozess wurden in einem Versuchsprotokoll dokumentiert.

Bei den Filtrationsversuchen wurden die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung im Truböl sowie der Flüssigkeitsdruck variiert. Eine gezielte Abstufung der Eingangsgrößen Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Truböl konnte nicht erfolgen, da es sich bei den Trubölen um Rapsölqualitäten aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen im Praxisbetrieb handelte. Die Steuerung des Flüssigkeitsdrucks erfolgte nach vorgegebenen Einstellungen des Herstellers der Kammerfilterpresse. In zwei Versuchsvarianten wurde der Flüssigkeitsdruck über eine Bypassleitung gesenkt, ohne in die Steuerung einzugreifen. Zwei Filtermittel (Filtertücher) und der Einsatz von Filterhilfsmitteln wurden untersucht.

4.4.1 Filtermittel

Als Filtermittel wurden auf Empfehlung des Herstellers der Kammerfilterpresse die Filtertücher NKD 2319 und E/23 Propex getestet. Für die Versuche standen End- und Durchstecktücher zur Verfügung, die regelmäßig nach Vorgaben der Tuchhersteller gereinigt wurden.

Das Filtertuch **Marsyntex[®] NKD 2319** des Herstellers Otto Markert & Sohn GmbH, Neumünster, ist ein gewebtes Tuch aus einem monofilen Polyamid-Garn. Weitere Angaben zu diesem Filtermittel sind in Abbildung 27 zusammengefasst. Das Rückhaltevermögen wird vom Hersteller nicht näher angegeben. [25]



NKD 2319 (Herstellerangaben)

Material:	Polyamid (Perlon Nylon)
Garnart:	Monofilament
Ausrüstung:	kalandriert
Gewicht:	300 g/m ²
Dicke:	0,4 mm
Luftdurchlässigkeit pro 100cm ² /min/20mm WS:	500 l
Temperaturbeständigkeit	
Dauertemperatur:	90 °C
Spitzentemperatur:	110 °C
Beständigkeit	
Säuren:	beschränkt
Laugen:	sehr gut

Abbildung 27: Filtermittel Marsyntex[®] NKD 2319 des Herstellers Otto Markert & Sohn GmbH

Das Filtertuch **E/23 Propex** des Herstellers Madison Filter GmbH, Salzgitter-Bad, ist aus Polypropylen-Fasern gewebt und thermofixiert. Eine Kurzbeschreibung dieses Filtertuchs enthält Abbildung 28. [23]

**E/23 Propex (Herstellerangaben)**

Material:	Polypropylen	
Ausrüstung:	thermofixiert	
Gewicht:	545	g/m ²
Luftdurchlässigkeit pro 100cm ² /min/20mm WS:	16	l
Temperaturbeständigkeit		
Dauertemperatur:	90	°C
Beständigkeit		
Säuren:	sehr gut	
Laugen:	sehr gut	
Rückhaltevermögen		
> 45 µm:	100	%
7,5 - 5 µm:	50	%

Abbildung 28: Filtermittel E/23 Propex des Herstellers Madison Filter GmbH

4.4.2 Filterhilfsmittel

Die Filtrationsversuche an der Kammerfilterpresse werden ohne und mit Einsatz zweier unterschiedlicher Filterhilfsmittel durchgeführt. Die Auswahl der beiden Filterhilfsmittel Lignocel und Becocel beruht auf Erfahrungen des Herstellers der Kammerfilterpresse. Für die Filtrationsversuche, werden die Filterhilfsmittel jeweils in einer Konzentration von ca. 10 g/kg (1 Masse-%) dem Trüböl beigemischt. Damit sich das Filterhilfsmittel mit dem Trüböl ausreichend vermischt, wird zunächst das Filterhilfsmittel mit einer kleinen Menge Trüböl aufgerührt und erst dann wird diese Suspension dem Trüböl zudosiert.

Das Filterhilfsmittel **Lignocel® C 120** des Herstellers J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co., Holzmühle bei Ellwangen, wird häufig zur Polier- und Entfärbungsfiltration sowie zur Winterisierung bei der Speiseölherstellung eingesetzt. Nach Angaben des Herstellers kann der Filterkuchen mit Lignocel-Beimischung als Futtermittel für die Tierernährung in Verkehr gebracht werden. [18]



Lignocel C 120 (Herstellerangaben)

Ausgangsstoff:	Nadelholz	
Bestandteile:	Cellulose	
	Lignin	
	Holzpolyosen	
Struktur:	faserig	
Partikelspektrum:	70-150	µm
Schüttgewicht:	100-135	g/l

Abbildung 29: Filterhilfsmittel Lignocel® C 120 des Herstellers J. Rettenmaier & Söhne GmbH + Co.

Becocel® 2000 ist ein Filterhilfsmittel des Herstellers E. Begerow GmbH & Co., Langenlonsheim, das zur Klärung stark verunreinigter Flüssigkeiten vor allem im Getränkebereich als Drainagehilfsmittel eingesetzt wird. Der mit Becocel versetzte Filterkuchen lässt sich nach Herstellerangaben in der Fütterung einsetzen. Weitere Produktinformationen sind in Abbildung 30 zusammengefasst. [14]



Becocel 2000 (Herstellerangaben)

Bestandteile:	Cellulose	
Struktur:	faserig	
Faserlänge Ø:	100-2000	µm
Faserdicke Ø:	5-20	µm
Schüttgewicht:	12	g/l
Spez. Oberfläche:	0,25 m²/g	

Abbildung 30: Filterhilfsmittel Becocel® 2000 des Herstellers E. Begerow GmbH & Co.

Hinweise zur Probenahme von Trüböl, Reinöl und Filterkuchen bei der Durchführung der Filtrationsversuche mit einer Kammerfilterpresse finden sich in Kapitel 4.6, Seite 67.

4.5 Untersuchungen an Sicherheitsfiltern

Die Auswahl der Sicherheitsfilter für den Einsatz bei der Reinigung von Rapsöl in dezentralen Ölgewinnungsanlagen richtete sich danach, welche Filtertypen bereits in der Praxis im Einsatz sind. Für die Untersuchungen wurden ein Beutelfilter, ein Kerzenfilter und ein Tiefenfilter aus dem Bereich der Schmierstoffaufbereitung sowie ein Schichtenfilter ausgewählt. Obwohl auch einige Filterkerzen und Filterschichten ebenso wie der genannte Tiefenfilter nach dem Prinzip der Tiefenfiltration arbeiten, werden im Folgenden für die unterschiedlichen Sicherheitsfilter aufgrund der besseren Unterscheidbarkeit die Begriffe Kerzenfilter, Tiefenfilter und Schichtenfilter verwendet.

Versuchsdurchführung

Als Ausgangsöle für die Überprüfung der Eignung der Sicherheitsfilter wurden durch Sedimentation oder Filtration mit einer Kammerfilterpresse geklärtes Rapsöl verwendet. Der Einfachheit halber wird dieses geklärte Rapsöl, das als Input-Material bei der Sicherheitsfiltration dient, im Folgenden als Trüböl bezeichnet. Den Versuchsaufbau für die Untersuchungen an Sicherheitsfiltern zeigt Abbildung 31.

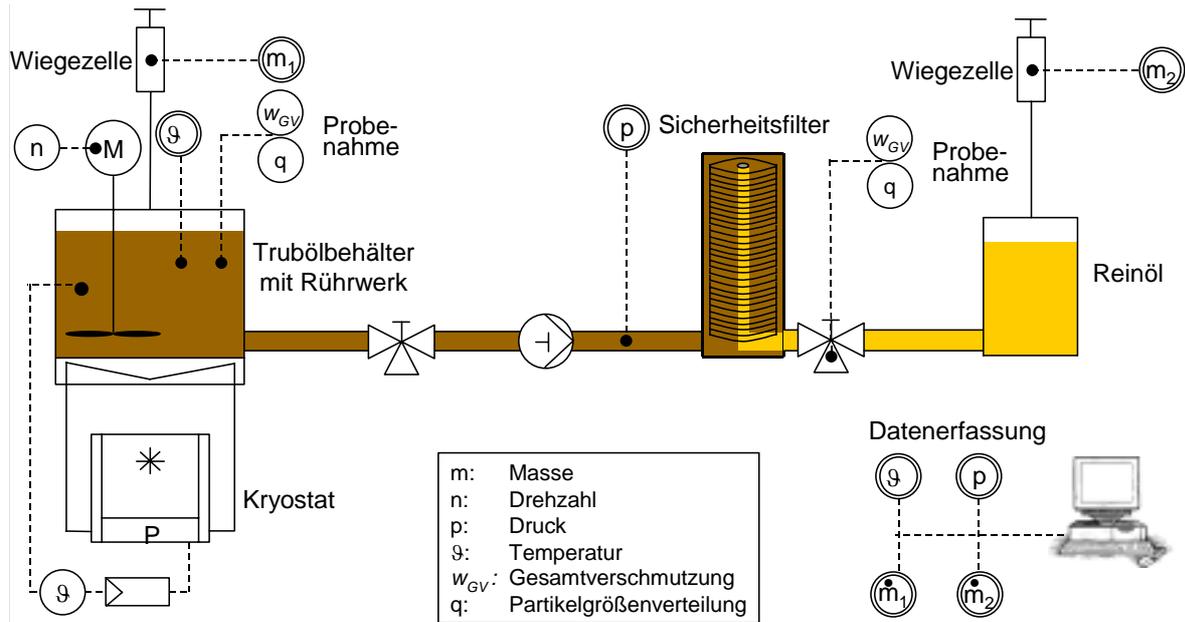


Abbildung 31: Versuchsaufbau zur Prüfung der Eignung von Sicherheitsfiltern für die Filtration von Rapsöl aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen

Der Versuchsaufbau und die Vorgehensweise entspricht weitestgehend der Versuchsdurchführung bei der Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse, siehe Kapitel 4.4, Seite 52. Aufgrund der geringen Menge, wird der anfallende Filterrückstand nicht quantifiziert und nicht näher untersucht. Die Einstellung des Flüssigkeitsdrucks richtete sich nach den Empfehlungen der Hersteller der Sicherheitsfilter. Für die Trübölzuführung wurde eine stufenlos regelbare Flügelzellenpumpe eingesetzt, mit Ausnahme des Tiefenfilters CJC-Feinfilter bei dem die installierte Pumpe genutzt wurde.

4.5.1 Beutelfilter

Das Filtergehäuse des Beutelfilters des Herstellers Amafilter BV und die technischen Daten zeigt Abbildung 32 [1]. Das Gehäuse, der Filterkorb, der Deckel und das federbelastete Andrückstück sind in Edelstahl ausgeführt. Der tiefe, hohle Deckel verhindert beim Öffnen das Überlaufen des gefüllten Beutelfilters.



Beutelfilter (Herstellerangaben)

Modell: OR98007128

Typ: AF1 - 90T - 2"

Ausführung in V4A

Höhe (ohne Fuß): 535 mm

Durchmesser: 219 mm

Gewicht ca.: 35 kg

Betriebstemperatur max.: 90 °C

Betriebsdruck max.: 2,5 bar

Druck max.: 10,0 bar

Abbildung 32: Beutelfilter-Gehäuse des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande

Für die Filtrationsversuche wurden in Absprache mit dem Hersteller zwei Filterbeutel ausgewählt. Beide Filterbeutel sind aus einem Nadelfilz aus Polyester gefertigt. Der Nadelfilz ist laut Herstellerangaben hoch beständig gegenüber pflanzlichen Ölen. Die Filter sind mit einem filzüberzogenen Metall- oder Kunststoffring ausgestattet „Snap-Collar-Verschluß“, der den Filterbeutel zum Gehäuse hin abdichtet.



Filterbeutel (Herstellerangaben)

Nadelfilz aus Polyester
mit Snap-Collar

Länge:	420	mm
Durchmesser:	180	mm
Filterfläche:	0,25	m ²
Betriebstemperatur max.:	150	°C
Betriebsdruck max.:	2,5	bar
Druck maximal:	4,0	bar

Typ: AP 1 P1-S

Filterfeinheit: 1 µm

Typ: AP 5/3/1 P1-SS „Multi Layer“

Filterfeinheit: 5 µm, 3 µm, 1 µm

Abbildung 33: Filterbeutel des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande

Für den Filterbeutel-Typ **AP 1 P1-S** wird vom Hersteller eine Filterfeinheit von 1 µm angegeben. Beim Typ **AP 5/3/1 P1-SS** handelt es sich um einen dreilagigen „Multi-Layer“ Filterbeutel, dessen Nadelfilzlagen die Filterfeinheiten 5 µm, 3 µm und 1 µm aufweisen. Die Flüssigkeit wird dabei durch ein immer feiner werdendes Filtermittel geleitet, wobei grobe Partikel bereits in der ersten und zweiten Filterlage zurückgehalten werden und dadurch höhere Filterstandzeiten erreicht werden.

[2]

4.5.2 Kerzenfilter

Das Filtergehäuse des Einzelkerzenfilters des Herstellers Amafilter BV, Alkmaar, Niederlande ist in Edelstahl ausgeführt, seine technischen Daten sind der Abbildung 34 zu entnehmen. Das Filtergehäuse ist aufgrund eines variablen Abdichtungssystems auch für Filterkerzen mit höheren Längentoleranzen geeignet. [3]



Einzelkerzenfilter (Herstellerangaben)

Modell:	T910074-246	
Typ:	AFL VS 10S - 3/4"	
Ausführung in	V4A	
Höhe:	330	mm
Breite:	110	mm
Betriebstemperatur max.:	120	°C
Betriebsdruck max.:	17,5	bar
Druck maximal:	250	bar
für Kerzenlänge:	254	mm

Abbildung 34: Einzelkerzen-Filtergehäuse des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande

In Absprache mit dem Hersteller des Kerzenfilters wurden zwei Filterkerzen ausgewählt, die für die Verwendung als Sicherheitsfilter bei der Filtration von Rapsöl geeignet sein sollen. Die beiden Filterkerzen mit ihren technischen Daten zeigt Abbildung 35.



Abbildung 35: Filterkerzen des Herstellers Amafilter BV. Alkmaar, Niederlande

Bei der Filterkerze vom **Typ CW** handelt es sich um eine Kerze aus gewickelter gebleichter Baumwolle. Sie soll ein hohes Schmutzaufnahmevermögen und somit lange Standzeiten aufweisen. Der Stützkern besteht aus Edelstahl. [5] Die Filterkerze vom **Typ WS** ist aus Polypropylen-Vliesschichten hergestellt, die von außen nach innen immer kleinere Faserdurchmesser aufweisen. Dadurch soll eine exakte Filterfeinheit gewährleistet werden. Auch der Stützkern ist aus Polypropylen hergestellt. Polypropylen ist lebensmitteltauglich. Da bei der Kerzenherstellung keine oberflächenaktiven Stoffe, Bindemittel oder Leimittel verwendet werden, enthält die Kerze keine extrahierbaren Substanzen. [4]

4.5.3 Tiefenfilter

Als Tiefenfilter wird ein sogenannter CJC-Feinfilter des Herstellers Karberg & Hennemann, Hamburg im Vertrieb der Firma Braun Filtrationstechnik, Oberndorf eingesetzt. Üblicherweise wird der CJC-Feinfilter zur Pflege von Hydraulik- und Schmierölen im Nebenstrom eingesetzt. Beim CJC-Feinfilter handelt es sich um eine komplette Filteranlage die aus einem fahrbaren Gestell mit Filtergehäuse und Flüssigkeitsförderpumpe besteht. Der Filter und seine technischen Daten sind in Abbildung 36 dargestellt. [19]



CJC-Feinfilter (Herstellerangaben)

Typ: FAFA27/54 ALP

Volumen: 40 l

Betriebstemperatur max.: 80 °C

Betriebsdruck max.: 2,2 bar

Auslegung für Feinfilterpatrone B

Pumpenleistung: 3,0 - 16 l/min

Leistung Motor: 0,25 - 0,55 kW

Abbildung 36: CJC-Feinfilter des Herstellers Karberg & Hennemann, Hamburg

Über eine Zahnradpumpe wird das zu filternde Rapsöl angesaugt und kontinuierlich mit konstanter Fördermenge durch den Filter gepumpt. Das Öl durchströmt die Filterpatrone von außen nach innen und fließt drucklos ab. Der zulässige Betriebsdruck zwischen 0 und 2,2 bar wird mit Hilfe eines Manometers überwacht. Bei Erreichen des maximal zulässigen Betriebsdrucks von 2,2 bar wird das Öl über ein Umlaufventil zum Pumpeneinlass zurückgeführt.

Die im Versuch eingesetzte Filterpatrone arbeitet nach dem Prinzip der Tiefenfiltration und ermöglicht laut Herstellerangaben eine Filterfeinheit von $< 1 \mu\text{m}$. Abbildung 37 zeigt zwei übereinandergestapelte Filterpatronen vom Typ B.

**Feinfilterpatrone B (Herstellerangaben)**

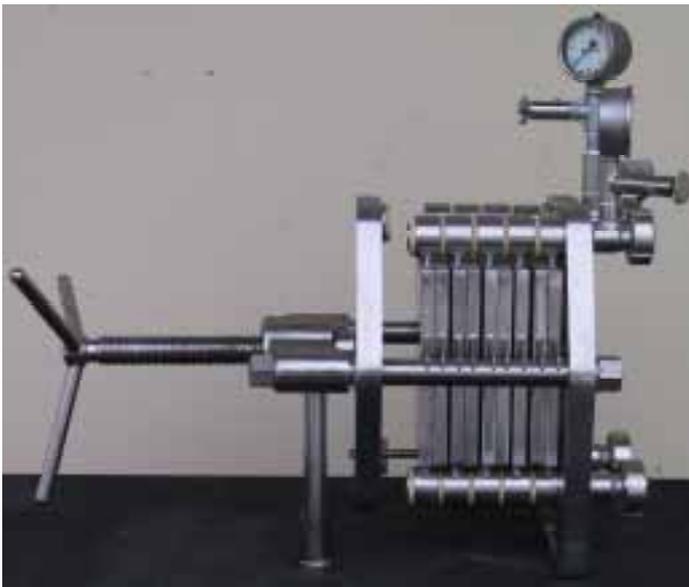
Filterfeinheit:	$< 1 \mu\text{m}$
Volumen:	19,2 l
Oberfläche:	4,1 m ²
Schmutzaufnahme*:	4,0 kg
Wasseraufnahme:	1,8 l
Durchmesser:	270 mm
Höhe:	540 mm

* kugelförmige Eisenoxidpigmente $\varnothing 0,5 \mu\text{m}$

Abbildung 37: Zwei gestapelte Filterpatronen B 27/54 für CJC-Feinfilter

4.5.4 Schichtenfilter

Für die Untersuchungen zur Sicherheitsfiltration an Rapsöl aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen wird ein Schichtenfilter Gnom Niro 200 des Herstellers Seitz-Schenk Filtersystems GmbH, Waldstetten eingesetzt. Den Schichtenfilter zeigt Abbildung 38. [36]



Schichtenfilter

Typ: Gnom Niro 200
VersuchsfILTER

Ausstattung:
Filterkammern
Trubrahmen

Filterkammer: 200 mm • 200 mm
Filterfläche des
Filterpakets im Versuch: 0,16 m²

Abbildung 38: Schichtenfilter Gnom Niro 200 des Herstellers Seitz-Schenk Filtersystems GmbH, Waldstetten

Das grundlegende Funktionsprinzip des Schichtenfilters entspricht dem der Rahmenfilterpresse, siehe Seite 29. Das für die Filtrationsversuche eingesetzte Filterpaket besteht aus Kopf- und Endplatte, einer Filterkammer und zwei Trubrahmen. Dazwischen sind vier Filterschichten eingespannt. Diese Anordnung entspricht einer Filterfläche von ca. 0,16 m². Folgende in Abbildung 39 charakterisierte Filterschichten wurden untersucht.



Filterschichten (Herstellerangaben)

vorgefertigte Spezialpappen,
auf der Basis von:

Zellstoffen, Diatomeenerde, kristalline
Kieselsäure, Quarz, Perlite, Naßfestmittel

Typ: HS 800

Gewicht: 1280 g/m²
Dicke: 3,7 mm
Rückhaltevermögen: 1 - 1,5 µm

Typ: HS 2000

Gewicht: 1220 g/m²
Dicke: 3,8 mm
Rückhaltevermögen: 4 - 9 µm

Typ: HS 6000

Gewicht: 1180 g/m²
Dicke: 4,2 mm
Rückhaltevermögen: 6 - 15 µm

Abbildung 39: Filterschichten des Herstellers SeitzSchenk Filtersystems GmbH, Waldstetten

Die Filterschicht vom Typ HS 800 wird häufig zur keimreduzierenden Tiefenfiltration, die Filterschichten Typ HS 2000 und HS 6000 werden zur Feinfiltration und Klärfiltration in der Getränkeherstellung eingesetzt. Der Hersteller nennt „Rückhalteraten“ für den Typ HS 800 von ca. 1 – 1,5 µm, für den Typ HS 2000 von ca. 4 – 9 µm und für den Typ HS 6000 von 6 – 15 µm [37].

Für die richtige Beurteilung des Reinigungserfolgs von Verfahren zur Fest/Flüssig-Trennung, muss besonderes Augenmerk auf die Probenahme von Trüböl und Reinöl gerichtet werden.

4.6 Probenahme

Die Probenahme des **Trüböls** erfolgt mit Hilfe einer Schlauchpumpe aus dem Trübölbehälter. Hierbei wird eine Allschichtenprobe entnommen, das bedeutet über die gesamte Füllhöhe des Trüböls wird eine Mischprobe gesammelt. Die Rapsölprobe hat ein Gesamtvolumen von ca. 2,2 l. Als Probengefäß dient eine Flasche aus HDPE mit einem Volumen von 2,5 l.

Die **Reinölprobe** wird als Hauptstromprobe oder Teilstromprobe aus einem Probenahmehahn aus der Reinölleitung abgefüllt. Die Entscheidung, ob eine Hauptstromprobe oder Teilstromprobe entnommen wird, richtet sich nach dem zu erwartenden Massenstrom des Reinöls. Ziel ist es, jeweils über einen Zeitraum von ca. fünf Minuten die Probe zu entnehmen. Das Probenvolumen beträgt ca. 1,8 l. Als Probengefäß wird ein Standbodenbeutel mit einem Volumen von 2 l verwendet. Die erste Probenahme erfolgt etwa fünf Minuten nach Starten des Filtrationsvorgangs nachdem das erste Öl den Filter passiert hat.

Die Probengefäße, sowohl für Trüböl als auch Reinöl, werden nicht vollständig befüllt, um das Homogenisieren der Rapsölprobe vor der Entnahme der Probe zur Analyse zu erleichtern.

Bei den Filtrationsversuchen mit der Kammerfilterpresse wird der **Filterkuchen** beprobt. Dazu wird im Sammelbehälter der Filterkuchen homogenisiert und eine repräsentative Probe mit einem Volumen von ca. 2 l entnommen und in eine Kunststofftüte abgefüllt.

4.7 Analytik

4.7.1 Gesamtverschmutzung

Die Gesamtverschmutzung in Trüböl und Reinöl wird nach DIN EN 12662 [12] analysiert. Der Methode DIN EN 12662 wird gegenüber der DGF-Methode C-III 11a (84) [10] der Vorzug gegeben, da diese im „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff 05/2000“ [32] vorgeschrieben ist. Abweichend von der Norm wird Petrolether als Lösungsmittel verwendet. Dieses Lösungsmittel wird auch bei der Bestimmung „*unlöslicher Verbindungen*“ mit dem Verfahren C-III 11a (84) nach den DGF-Einheitsmethoden eingesetzt und hat sich in vergleichenden Testanalysen bewährt.

Beim Prüfverfahren DIN EN 12662 wird zur Bestimmung der Gesamtverschmutzung (Verschmutzung) ein Probenteil über einen getrockneten und gewogenen Membranfilter mit einer mittleren Porenweite von 0,8 µm filtriert. Der Filter und der Filtrerrückstand werden mit einem Lösungsmittel gewaschen, getrocknet und gewogen. Die Massendifferenz entspricht der Gesamtverschmutzung. Für die Analysen werden Labor-Mehrfachfiltrationssysteme „MBS“ des Herstellers Schleicher & Schüll eingesetzt. Diese Filtrationsapparate haben sich durch ihre spezielle Abdichtung zwischen Filterhalter und Probenaufsatz als besonders geeignet für die Analyse von Pflanzenölen mit hohem Kriechvermögen erwiesen. Der Unterschied zwischen zwei Analyseergebnissen von demselben Beobachter darf gemäß der Norm auf Dauer nur in einem von zwanzig Fällen 10 % (relativ) des Mittelwertes überschreiten (Wiederholbarkeit), bei unabhängigen Ergebnissen in einem von zwanzig Fällen 30 % (relativ) des Mittelwertes überschreiten (Vergleichbarkeit). Abbildung 40 zeigt schematisiert die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Gesamtverschmutzung in Rapsöl.

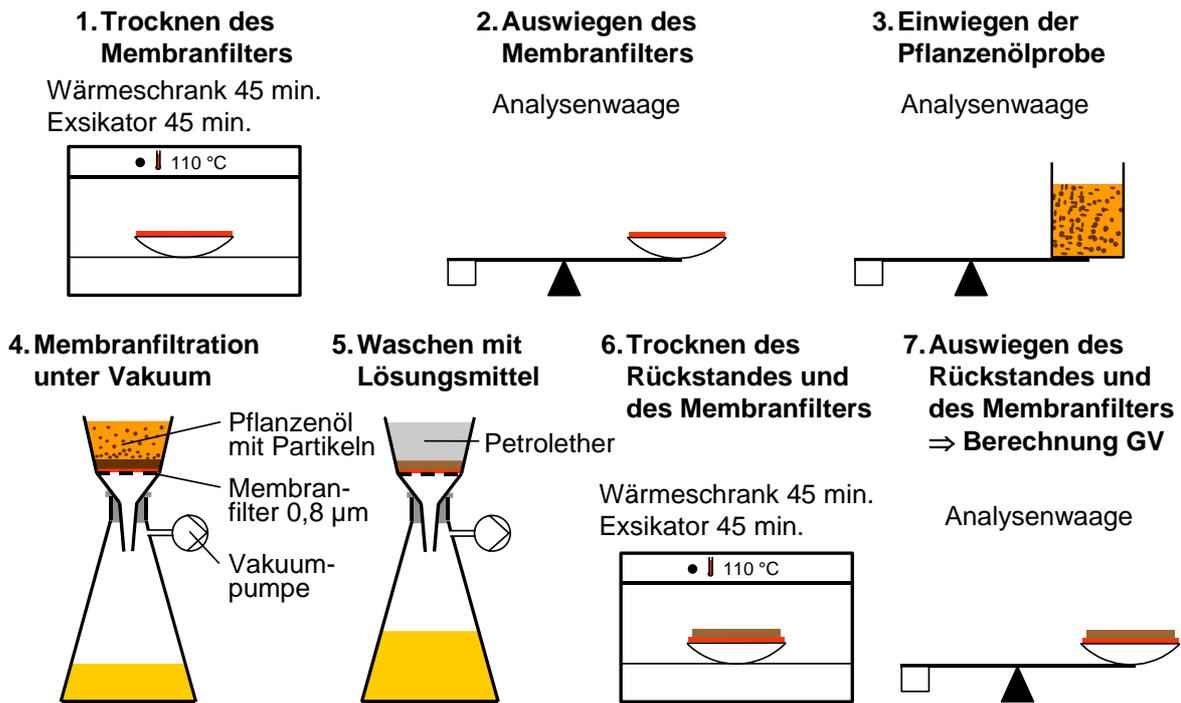


Abbildung 40: Analyse der Gesamtverschmutzung (GV) in Rapsöl in Anlehnung an DIN EN 12662

An den Rapsölproben wird jeweils eine Dreifach-Bestimmung durchgeführt. Vor der Probenteilung werden die Rapsölproben in ihren Probengefäßen in einem Turbula-Mischer des Herstellers Willy A. Bachofen AG mindestens fünf Minuten homogenisiert. Bei Auftreten starker Abweichungen im Ergebnis für die Gesamtverschmutzung, werden zusätzliche Analysen durchgeführt. Aus den Analyseergebnissen wird nach Ausschluss etwaiger Ausreißer der arithmetische Mittelwert berechnet und als Ergebnis angegeben.

4.7.2 Partikelgrößenverteilung

Die Analyse der Partikelgrößenverteilung im Rapsöl erfolgt durch Laserbeugungsspektroskopie mit Hilfe eines Messgeräts Typ Helos KF der Firma Sympatec. 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 Fraunhofer-scher 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 Energiedichte 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 bei dem in Abbildung 41 dargestellten Gerät 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. In Abbildung 41 ist Aufbau und Funktion des Messgerätes zur Partikelgrößenanalyse mit Laserbeugungsspektroskopie dargestellt.

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 µm 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.

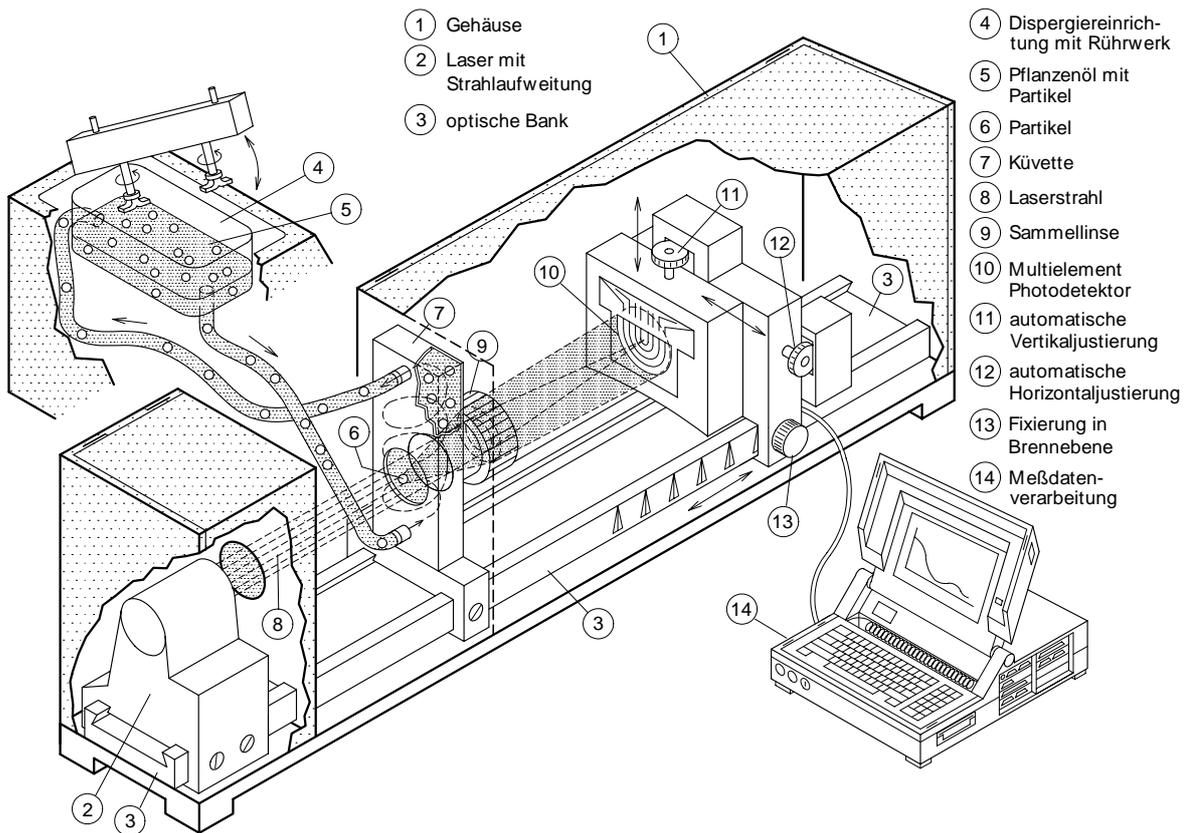


Abbildung 41: Partikelgrößenanalyse in Rapsöl mittels Laserbeugungsspektroskopie, Messgerät Helos der Firma Sympatec

Messungen sind in drei Messbereichen mit unterschiedlicher Auflösung für Partikelgrößen zwischen $0,5 \mu\text{m}$ und $850 \mu\text{m}$ möglich. Die Messung des Trüböls erfolgt im Messbereich von $0,5$ bis $850 \mu\text{m}$, das Reinöl wird in einem Messbereich zwischen $0,5$ und $175 \mu\text{m}$ analysiert. Die Messdauer beträgt eine Minute; insgesamt werden pro Probe mindestens fünf Messungen durchgeführt und statistisch ausgewertet. Aus den auswertbaren Messergebnissen werden arithmetische Mittelwerte gebildet. Das Messergebnis wird in der Regel als Summenverteilung der Partikelgrößen dargestellt.

4.7.3 Ölgehalt im Filterkuchen

Die Analyse des Ölgehalts im Filterkuchen erfolgt nach der DGF-Einheitmethode Restölgehalt B-II 4a (98). Hierzu wird die Probe in einer Mikrokugelmühle unter Zugabe eines Lösungsmittels zerkleinert und anschließend mit demselben Lösungsmittel extrahiert. Das Lösungsmittel wird aus dem Extrakt abdestilliert und der Rückstand nach dem Trocknen gewogen. Die Angabe des Ergebnisses erfolgt in g/100g oder in %. [11]

4.8 Versuchsauswertung und Ergebnisdarstellung

Die ermittelten Daten für die Trubölmasse, die Reinölmasse und den Flüssigkeitsdruck aus den Filtrationsversuchen werden in Diagrammen grafisch aufbereitet. In den Diagrammen wird die Anzahl und die jeweilige Dauer der Probenahme im Reinöl gekennzeichnet. Sind Probenahmen zwar gekennzeichnet, jedoch nicht nummeriert, wurden die nicht nummerierten Proben keiner Analyse unterzogen. Zum Teil wirkte sich die Reinölprobenahme aufgrund der sich ändernden Strömungswiderstände auf den Flüssigkeitsdruck am Filter (Differenzdruck) aus (siehe zum Beispiel Seite 140). Die Angaben zum Massenstrom des Reinöls beziehen sich insbesondere bei den Versuchen mit der Kammerfilterpresse auf den Filtrationsvorgang ohne Berücksichtigung der Filterkuchentrocknung.

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. Im Diagramm werden die Messwerte als „Bubble-Plot“ umgesetzt, wobei die Flächen in ihrer Größe zwischen dem Minimum für eine Partikelgröße von $0,5 \mu\text{m}$ und dem Maximum von $850 \mu\text{m}$ variieren. Eine Wiedergabe der Ergebnisse im stets selben Maßstab, ermöglicht den einfachen Vergleich der Ergebnisse zwischen den einzelnen Versuchsvarianten.

Die grafische Aufbereitung der Analysenwerte für die Partikelgrößenverteilung zeigt exemplarisch Abbildung 42. Rapsöl 1 weist hierbei einen deutlich höheren Anteil größerer Partikel auf als Rapsöl 2.

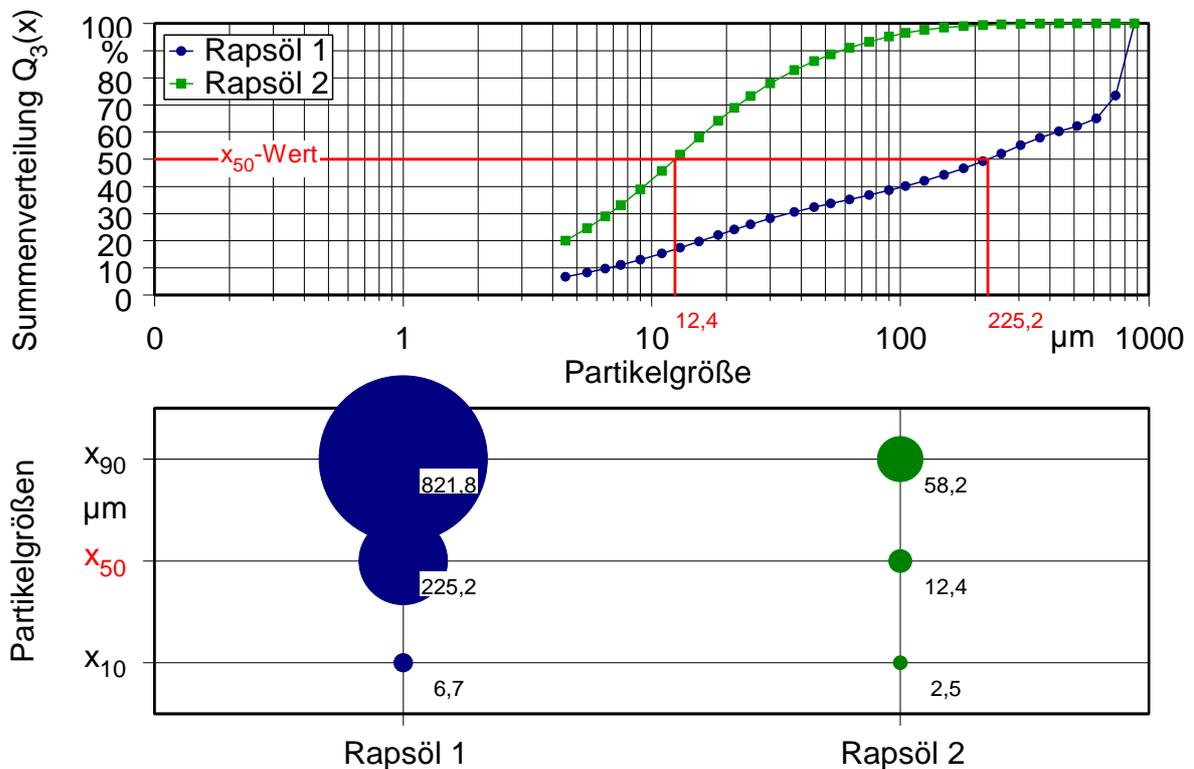


Abbildung 42: Herleitung der grafischen Darstellungsform für die Partikelgrößenverteilung als „Bubble-Plot“

Die Ergebnisse der einzelnen Versuche zur Reinigung von Rapsöl aus dezentralen Ölgewinnungsanlagen sind im Anhang, ab Seite 115 aufgeführt. Vorversuche sind nicht berücksichtigt.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl

Kenntnisse über die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl bilden die Grundlage für die Auslegung der Fest/Flüssig-Trennung bei Pflanzenölen. Die Einflüsse der Rapssaat und des Ölgewinnungsprozesses auf diese beiden Zielgrößen werden im Folgenden erläutert.

5.1.1 Einfluss der Rapssaat

Die Gesamtverschmutzung im Trüböl nach der Pressung variierte unter Einhaltung weitestgehend konstanter Pressparameter bei der Ölgewinnung innerhalb der untersuchten 27 Rapssaatvarianten zwischen 7044 mg/kg und 24934 mg/kg. Die Partikelgrößenverteilungen der Ölproben aus den Rapssaatvarianten unterschieden sich in weit geringerem Maße.

Ein Einfluss des Erntejahres bei unterschiedlichen Rapssorten konnte, wie Abbildung 43 zeigt, nicht festgestellt werden. Ebenso zeigten Rapssorten, die sich durch Pflanzenschutzmaßnahmen und Blattdüngung beim Anbau voneinander unterschieden, keine Auswirkung auf die Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl. Die Ergebnisse sind in Abbildung 44 dargestellt. Abbildung 45 und Abbildung 46 zeigen, dass die Aussaatdichte und unterschiedlich hohe Stickstoffdünger-Gaben sich nicht eindeutig auf die Größe und Menge der Partikel im Trüböl auswirken.

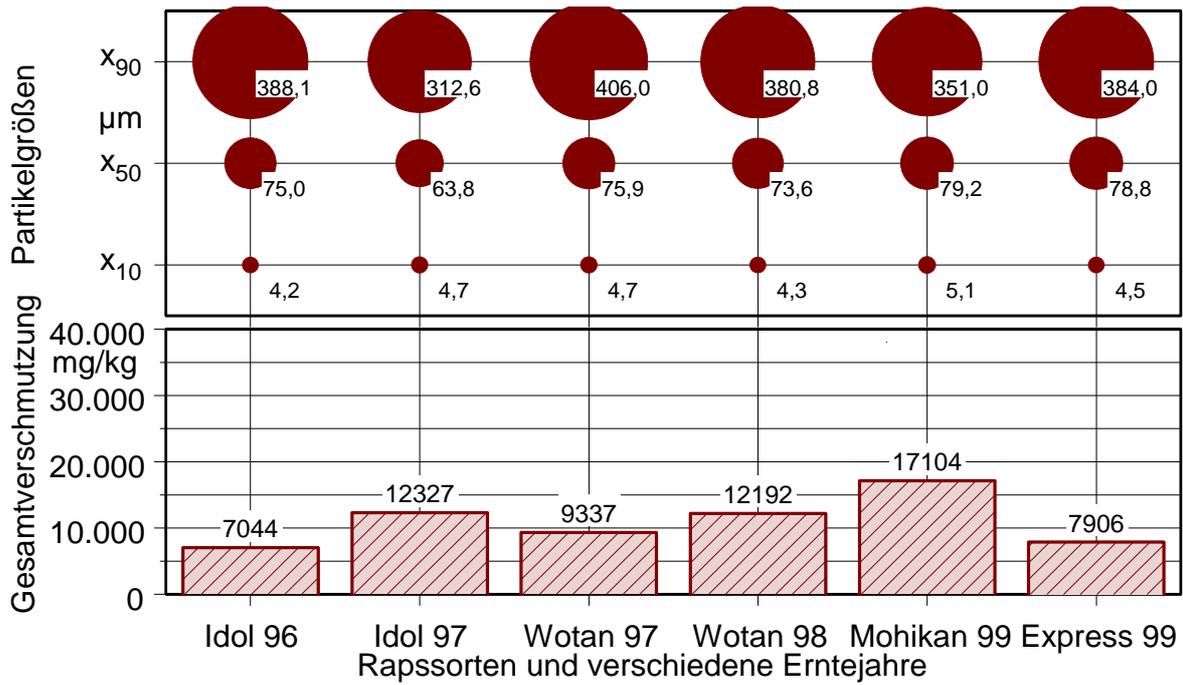


Abbildung 43: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapssorten bei unterschiedlichen Erntejahren

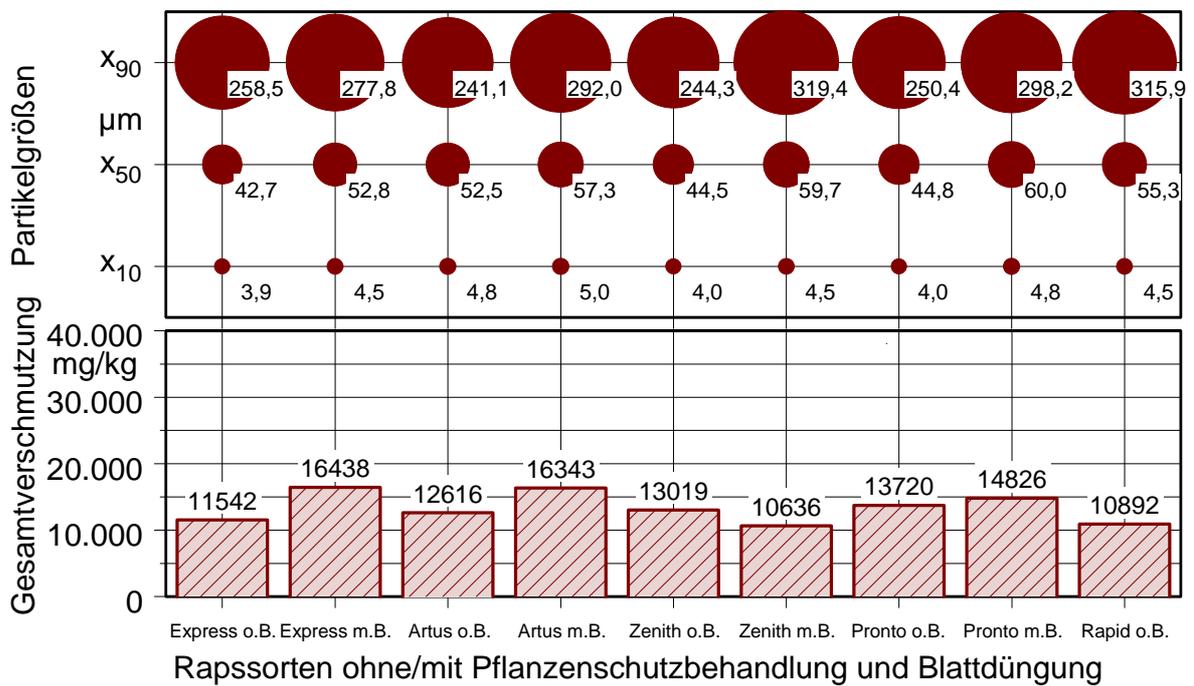


Abbildung 44: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapssorten ohne und mit Pflanzenschutzmaßnahmen und Blattdüngung

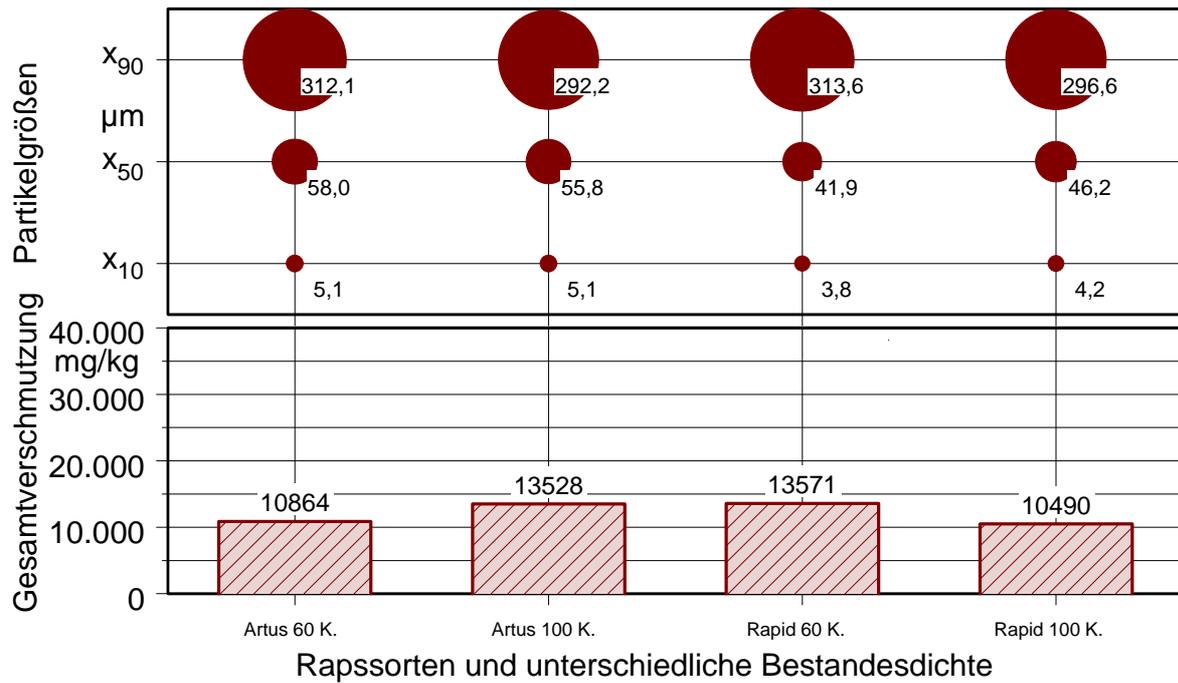


Abbildung 45: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapssorten bei unterschiedlichen Aussaatdichten

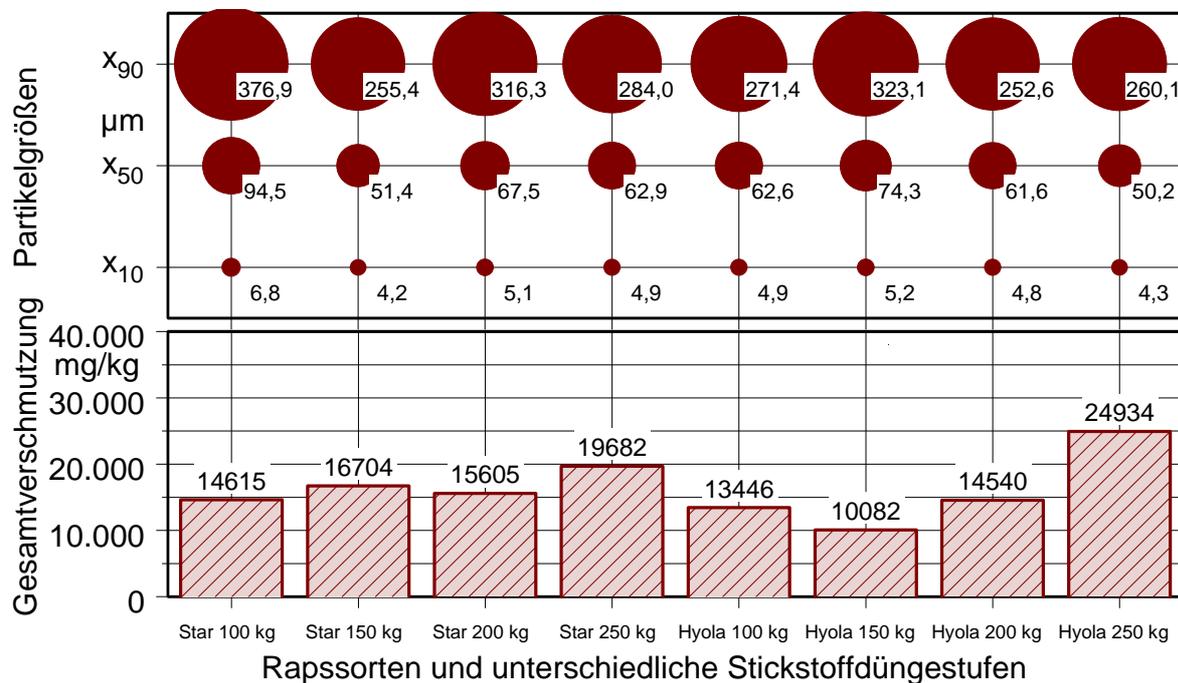


Abbildung 46: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Trüböl aus verschiedenen Rapssorten bei unterschiedlichen Stickstoffdüngestufen

Die Eigenschaften der Rapsaat bei der Verarbeitung lassen sich auch durch das Tausendkorngewicht und die Feuchte beschreiben. Ob sich die Größe der Rapskörner, beschrieben durch das Tausendkorngewicht, auf die Gesamtverschmutzung im Trüböl auswirkt, wurde anhand der Korrelation der beiden Größen geprüft. Abbildung 47 zeigt, dass zwischen dem Tausendkorngewicht der Rapsaat und der Gesamtverschmutzung im Trüböl kein eindeutiger Zusammenhang besteht.

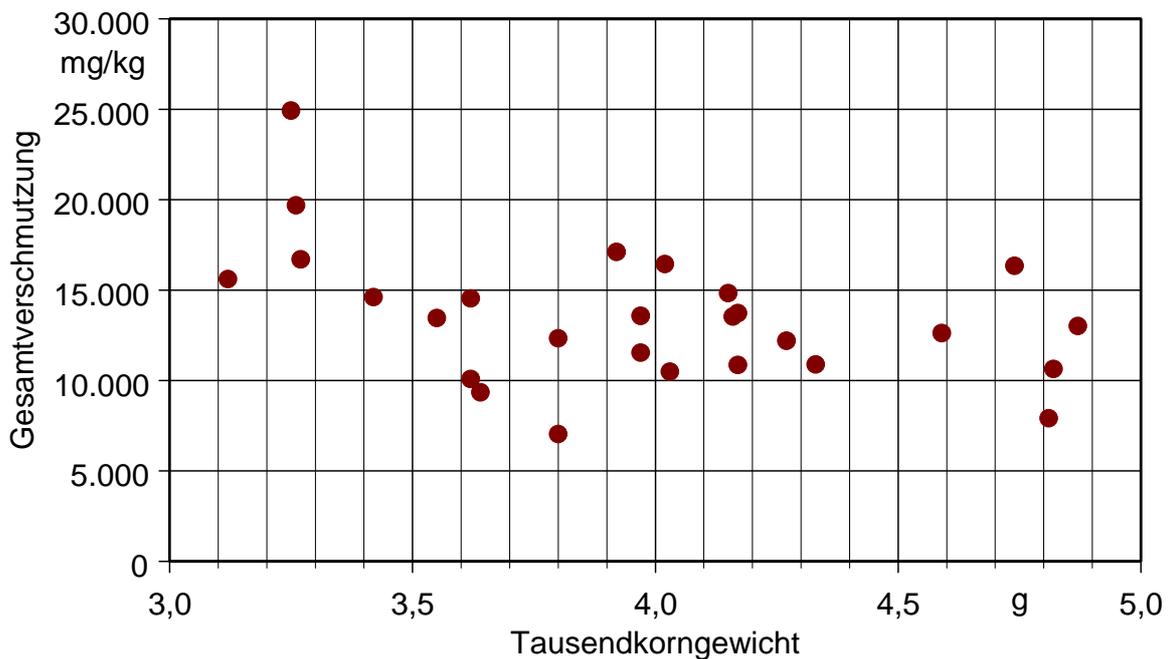


Abbildung 47: Korrelation zwischen Tausendkorngewicht der Rapssaat bei der Verarbeitung und der Gesamtverschmutzung im Trüböl

Die Überprüfung der Korrelation zwischen der Saatfeuchte und der Gesamtverschmutzung ergibt, dass tendenziell mit zunehmender Saatfeuchte die Gesamtverschmutzung im Trüböl abnimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 48 dargestellt. Dieser Zusammenhang, der bereits von Widmann (1994) [39] aufgezeigt wurde, kann somit bestätigt werden.

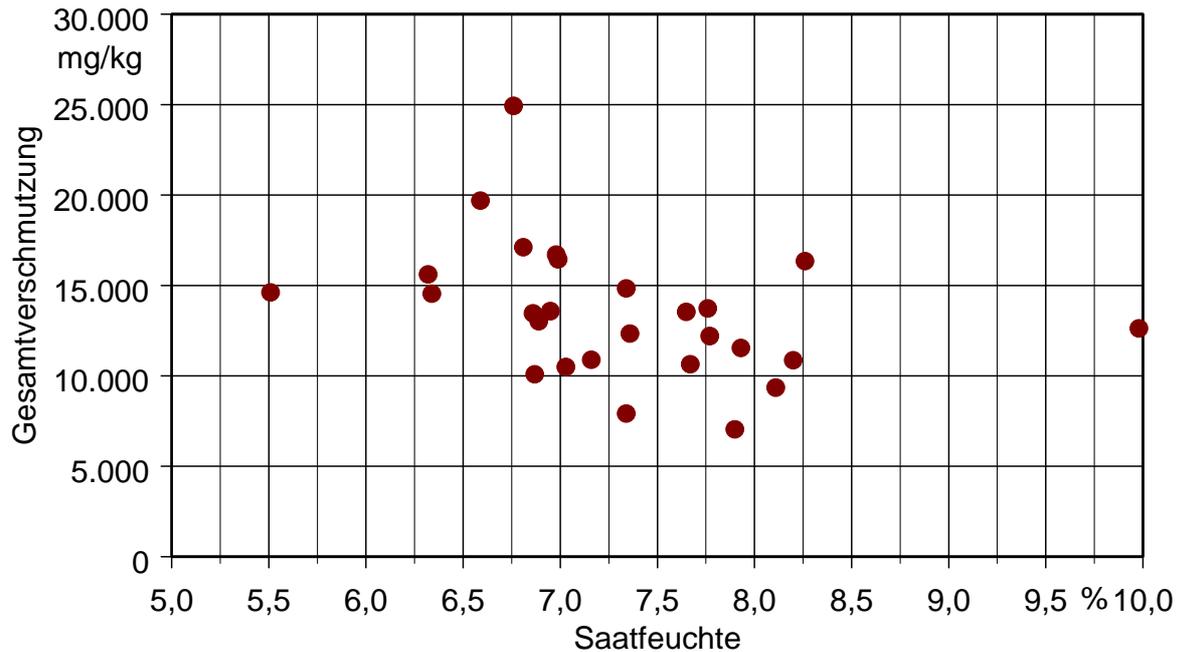


Abbildung 48: Korrelation zwischen Feuchte der Rapssaat bei der Verarbeitung und der Gesamtverschmutzung im Truböl

Zusammenhänge zwischen dem Tausendkorngewicht oder der Saatfeuchte und der Partikelgrößenverteilung waren nicht offensichtlich.

Mehr als durch die Saateigenschaften werden die Zielgrößen durch die Prozessparameter bei der Ölpressung beeinflusst.

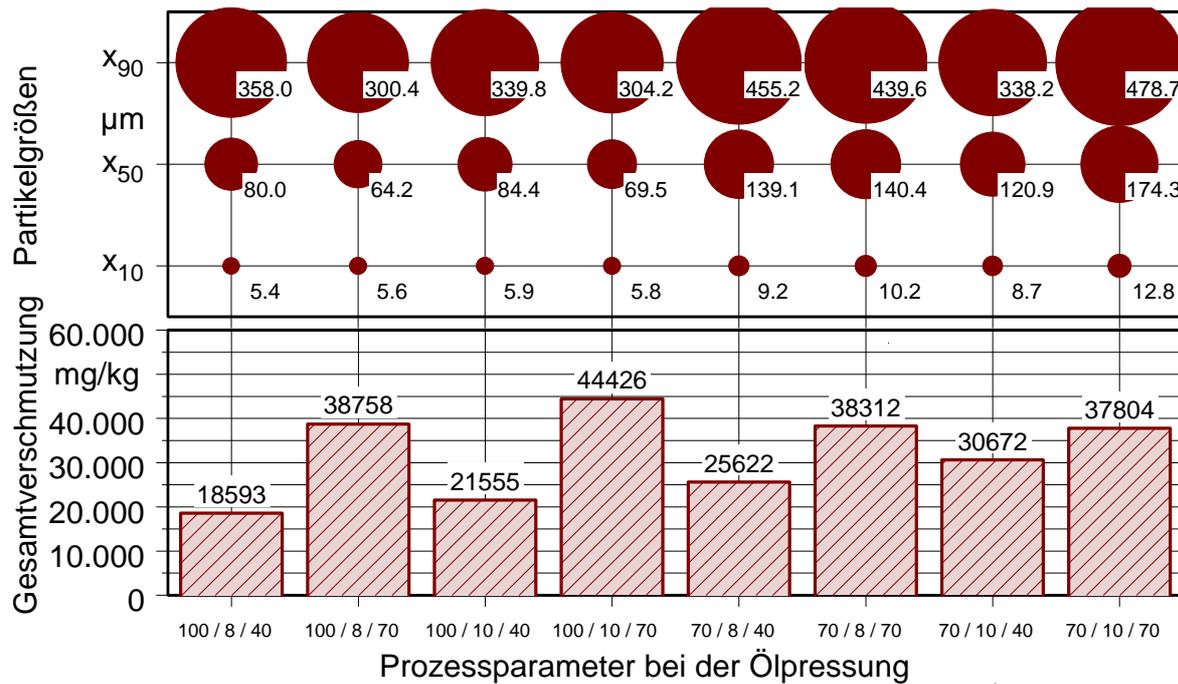
5.1.2 Einfluss der Pressparameter

Am deutlichsten wirkte sich der **Verschleiß** der Pressgarnitur auf die Gesamtverschmutzung im Truböl aus. Bei der Ölpressung mit der stark verschlissenen Pressgarnitur „Bautyp A“ mit einem Pressspalt von 2,15 mm traten insgesamt die höchsten Gesamtverschmutzungen im Truböl auf. Die Analysenergebnisse sind in Abbildung 49 dargestellt. Die höchste analysierte Gesamtverschmutzung betrug 44426 mg/kg. Die Gesamtverschmutzung im Truböl verringerte sich durch das Einsetzen von Distanzringen, die den Pressspalt auf 1,55 mm reduzierten, wie Abbildung 50 zeigt. Bei der Ölpressung mit der fabrikneuen Pressgarnitur „neuer Bautyp B“ (Pressspalt 1,75 mm) traten nochmals geringere Gesamtverschmut-

zungen im Trüböl auf. Die maximale Gesamtverschmutzung im Trüböl betrug bei dieser Versuchsreihe 18225 mg/kg. Die Analysenergebnisse für die Versuchsvarianten sind in Abbildung 51 gegenübergestellt. Wird die **Presskopftemperatur** um 30 °K von 60 °C auf 90 °C erhöht, tritt eine weitere Verringerung der Gesamtverschmutzung im Trüböl auf. Dies wird im Vergleich von Abbildung 51 mit Abbildung 52 deutlich. Bei 90 °C Presskopftemperatur wurden bei der Ölsaatenverarbeitung mit der fabrikneuen Pressgarnitur „neuer Bautyp B“ nur noch maximal 9808 mg/kg Gesamtverschmutzung analysiert.

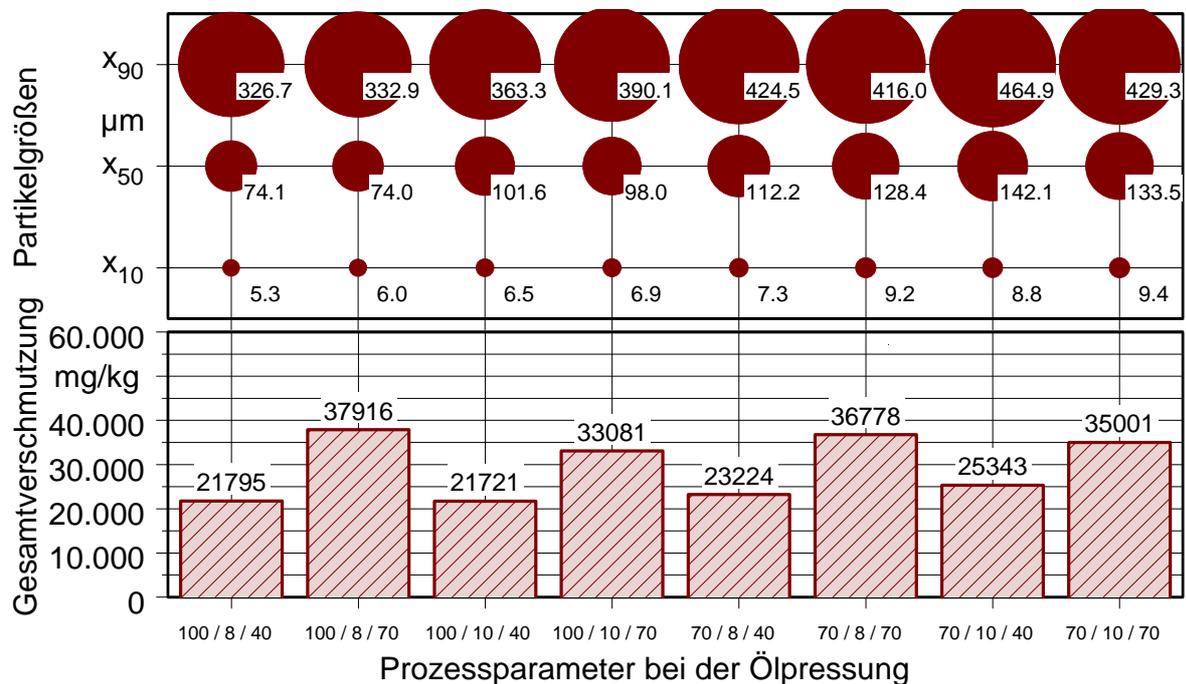
Tendenziell erhöht sich die Gesamtverschmutzung im Trüböl, wenn die **Schneckenbeladung** nicht wie vom Hersteller vorgesehen zu 100 %, sondern nur mit 70 % erfolgt. Der Zunahme der Gesamtverschmutzung im Trüböl durch Vergrößerung des **Pressdüsendurchmessers** von 8 mm auf 10 mm tritt vergleichsweise nicht so deutlich hervor. Eine Erhöhung der **Schneckendrehzahl** von 40 min⁻¹ auf 70 min⁻¹ hat einen weitaus deutlicheren Anstieg der Gesamtverschmutzung im Trüböl zur Folge.

Die von WIDMANN (1994) [39] beschriebenen Einflüsse der Systemparameter Presskopftemperatur, Düsendurchmesser und Drehzahl der Pressschnecke auf den Feststoffgehalt im Trüböl können bestätigt werden. Die Aussage von GRAF et al. [16], dass mit steigender Schneckendrehzahl der Feststoffgehalt im Öl tendenziell abnimmt, konnte nicht bestätigt werden.



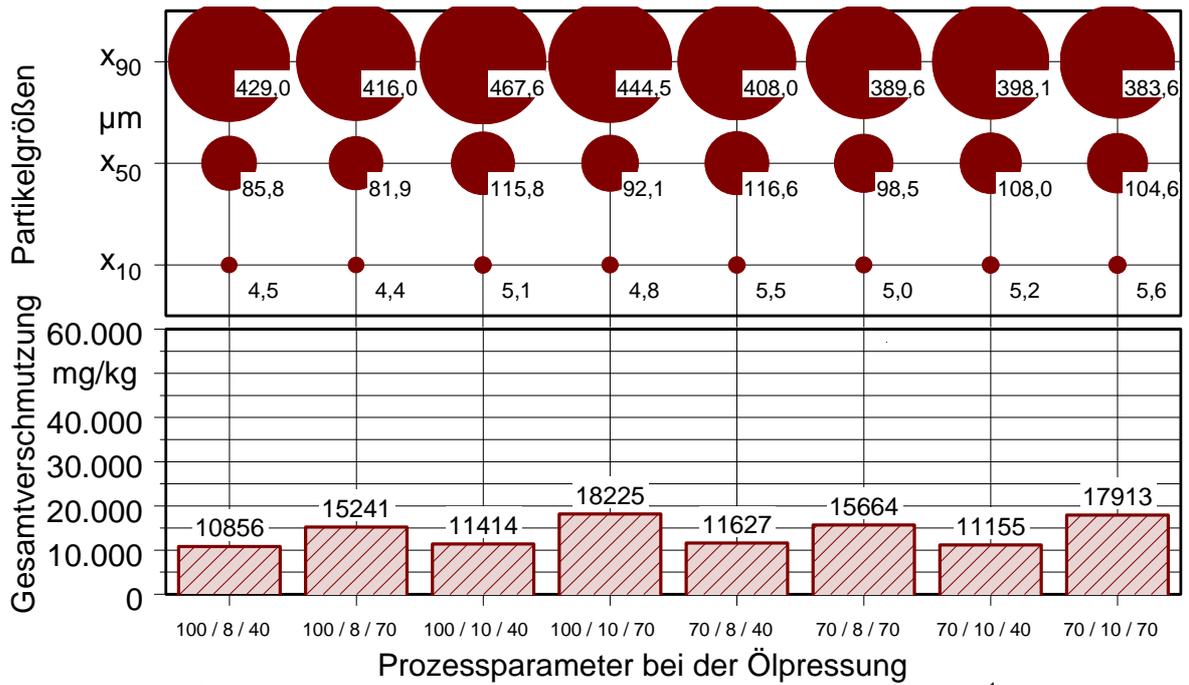
Prozessparameter: Schneckenbelastung [%] / Pressdüsendurchmesser [mm] / Drehzahl Schnecke [min^{-1}]

Abbildung 49: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und hoher Verschleiß der Pressgarnitur (Pressspalt 2,15 mm) „Bautyp A“



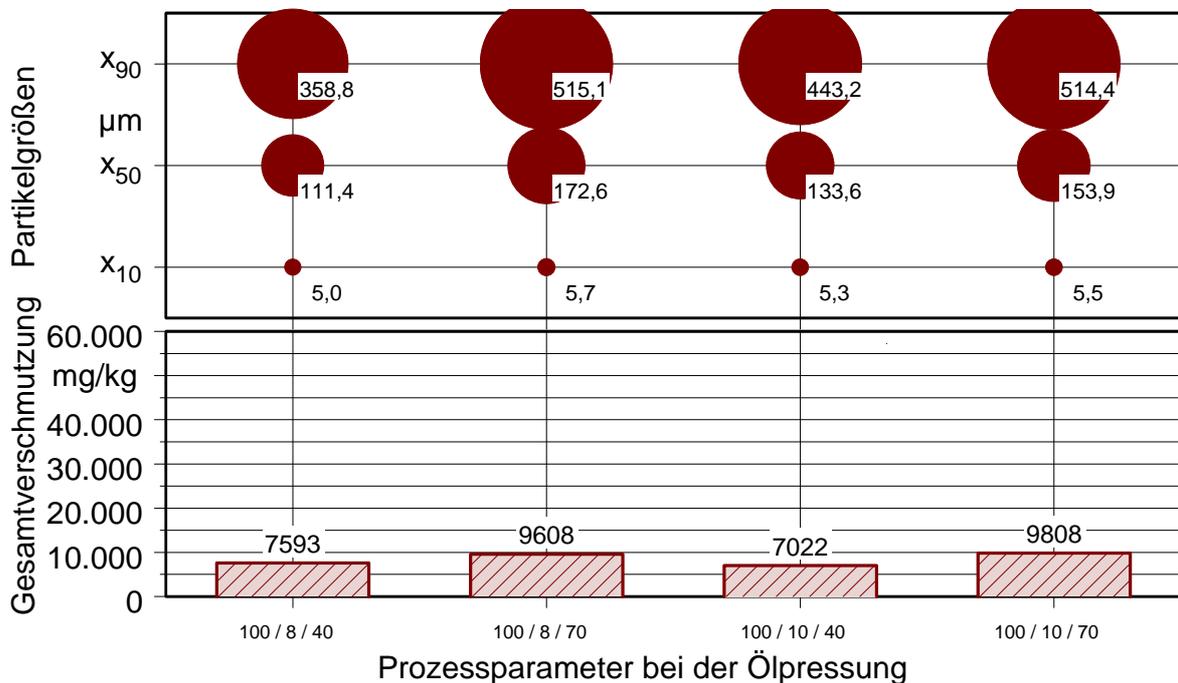
Prozessparameter: Schneckenbelastung [%] / Pressdüsendurchmesser [mm] / Drehzahl Schnecke [min^{-1}]

Abbildung 50: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und hoher Verschleiß der Pressgarnitur und Reduzierung des Pressspalts durch Distanzringe (Pressspalt 1,55 mm) „Bautyp A“



Prozessparameter: Schneckenbeladung [%] / Pressdüsendurchmesser [mm] / Drehzahl Schnecke [min⁻¹]

Abbildung 51: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 60 °C und neue Pressgarnitur (Pressspalt 1,75 mm) „Bautyp B“



Prozessparameter: Schneckenbeladung [%] / Pressdüsendurchmesser [mm] / Drehzahl Schnecke [min⁻¹]

Abbildung 52: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl bei unterschiedlichen Prozessparametern bei der Ölsaatenverarbeitung – Presskopftemperatur konstant 90 °C und neue Pressgarnitur (Pressspalt 1,75 mm) „Bautyp B“

Partikelgrößenverteilung

Die Partikelgrößenverteilung im Trüböl wird beeinflusst durch die **Presskopftemperatur**. Ein Vergleich der Analysen in Abbildung 51 mit denen in Abbildung 52 zeigt, dass bei der Ölsaatenverarbeitung mit einer Presskopftemperatur von 90 °C mehr größere Partikel im Öl auftreten als bei einer Presskopftemperatur von 60 °C. Ein eindeutiger Einfluss des **Verschleißes** der Pressgarnitur beziehungsweise des Bautyps der Pressgarnitur lässt sich nicht feststellen. Bei den Untersuchungen an der Pressgarnitur mit hohem Verschleißgrad bei einem Pressspalt von 2,15 mm und 1,55 mm, Abbildung 49 und Abbildung 50, zeigt sich, dass eine Verringerung der **Schneckenbeladung** auf 70 % den Anteil größerer Partikel erhöht und den Anteil kleinster Partikel im Trüböl senkt. Der gegenteilige Effekt tritt bei der Pressgarnitur neuen Bautyps mit einem Pressspalt von 1,75 mm auf. Die Verringerung der Schneckenbeladung lässt den Anteil größerer Partikel im Trüböl sinken. Der Einfluss der **Schneckendrehzahl** auf die Partikelgrößenverteilung ist nicht eindeutig. Tendenziell lässt sich jedoch bei den Versuchen mit der Pressgarnitur neuen Bautyps B und einer Presskopftemperatur von 60 °C, dargestellt in Abbildung 51, eine Abnahme des Anteils größerer Partikel im Öl bei einer höheren Drehzahl beobachten. Bei einer Presskopftemperatur von 90 °C, scheint sich der Effekt jedoch umzukehren. Werden bei der Ölpressung Pressdüsen mit einem **Pressdüsendurchmesser** von 10 mm verwendet, erhöht sich tendenziell der Anteil größerer Partikel im Trüböl gegenüber dem Einsatz von Pressdüsen mit einem Durchmesser von 8 mm.

Eine hohe Gesamtverschmutzung im Trüböl geht nicht einher mit einem hohen Anteil größerer Partikel im Öl. Die Höhe der Gesamtverschmutzung im Trüböl nach der Ölpressung steht in keinem Zusammenhang mit der Partikelgrößenverteilung.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die Ölsaatenverarbeitung mit dem beschriebenen Pressentyp. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Ölpressen-Bauarten ist vermutlich nicht möglich. Es ist festzustellen, dass die Prozessparameter bei der Ölsaatenverarbeitung mehr Einfluss nehmen auf die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl als Rapsorten und unterschiedliche Anbaubedingungen. Bei konstanten Pressbedin-

gungen variiert deshalb die Gesamtverschmutzung hauptsächlich nur in Abhängigkeit vom Verschleiß, bei gering schwankender Partikelgrößenverteilung.

5.2 Kontinuierliche Sedimentation

Untersuchungen zur Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentationssystem wurden an zwei unterschiedlichen Sedimentationssystemen A und B in Kombination mit zwei unterschiedlichen Ölpresen durchgeführt.

Mit dem kontinuierlichen Sedimentationssystem Typ A in Kombination mit einer Ölpresse vom Typ Komet DD 85 G von IBG Monforts konnte die Gesamtverschmutzung im Truböl um jeweils ca. 99 % gesenkt werden. Die Ergebnisse der beiden Versuchsvarianten „geringe Gesamtverschmutzung im Truböl“ und „hohe Gesamtverschmutzung im Truböl“ sind in Abbildung 53 und Abbildung 54 dargestellt. Bei einer Gesamtverschmutzung im Truböl von 14865 mg/kg wurde nach Sedimentationsbehälter 4 eine Gesamtverschmutzung von 183 mg/kg erzielt und bei einer Gesamtverschmutzung im Truböl von 27674 mg/kg wurde nach Behälter 4 ein Anteil von Verunreinigungen in Höhe von 298 mg/kg analysiert. Der Anteil größerer Partikel im Öl, beschrieben durch den x_{90} -Wert von 308 μm beziehungsweise von 370 μm wurde deutlich reduziert. Nach der Sedimentation waren etwa 10 % aller Partikel noch größer als 40 μm .

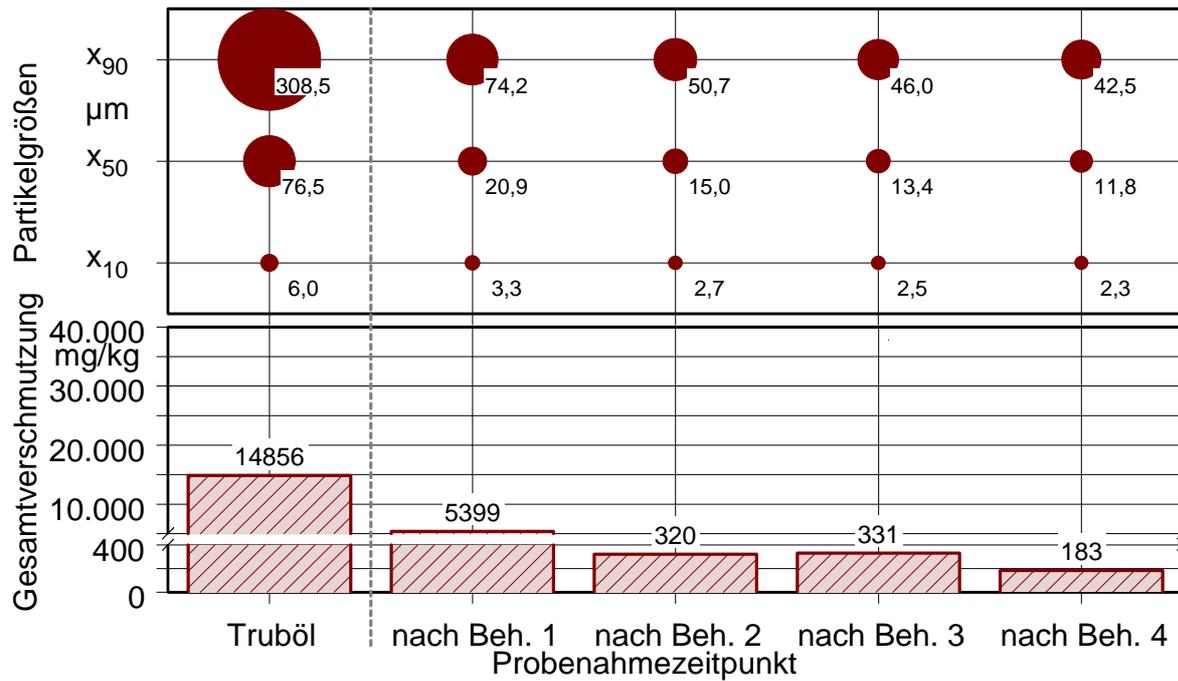


Abbildung 53: Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentations-system Typ A – Variante geringe Gesamtverschmutzung im Trüböl

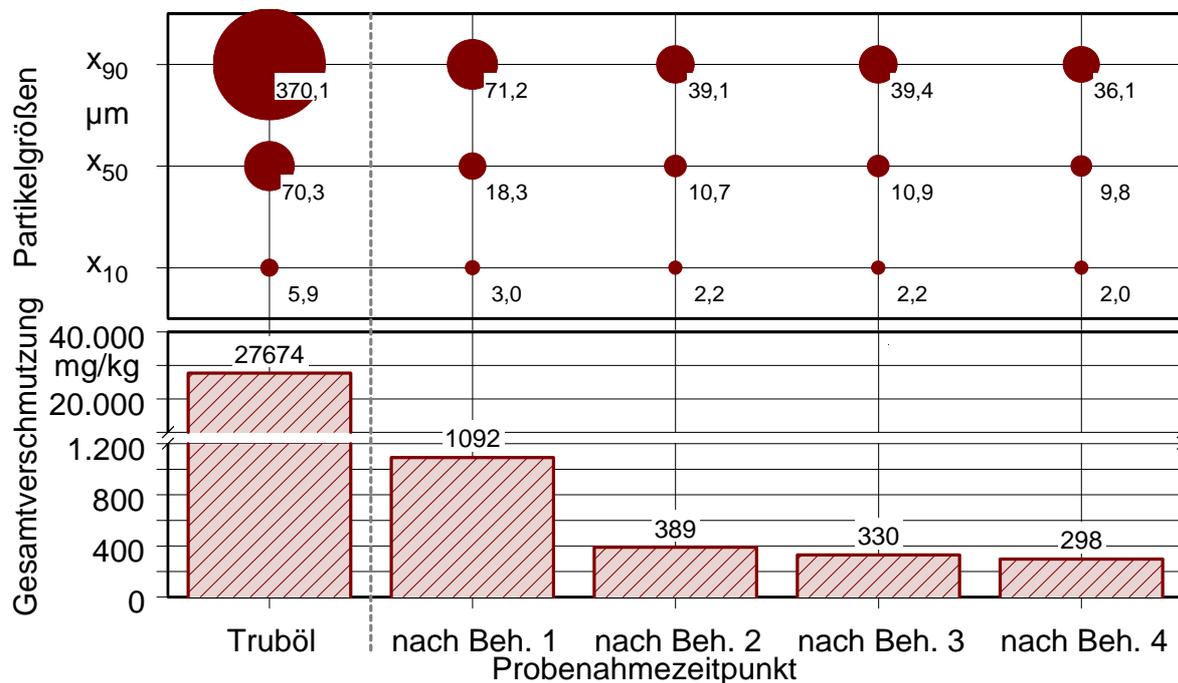


Abbildung 54: Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentations-system Typ A – Variante hohe Gesamtverschmutzung im Trüböl

Ähnlich gute Reinigungserfolge wurden mit dem kontinuierlichen Sedimentations-system Typ B in Kombination mit einer Ölpresse Typ SK 60/1 von Strähle erzielt. Die Gesamtverschmutzung im Truböl konnte nach Behälter vier um etwa 98 % reduziert werden und verringerte sich damit von 15278 mg/kg im Truböl auf 355 mg/kg. Der Anteil an großen Partikeln im Truböl war mit einem x_{90} -Wert von 821,8 vergleichsweise hoch. Er konnte jedoch durch die Sedimentation deutlich verringert werden. Wie bei der kontinuierlichen Sedimentationsanlage Typ A waren nach der Sedimentation noch ca. 10 % aller Partikel größer 40 μm .

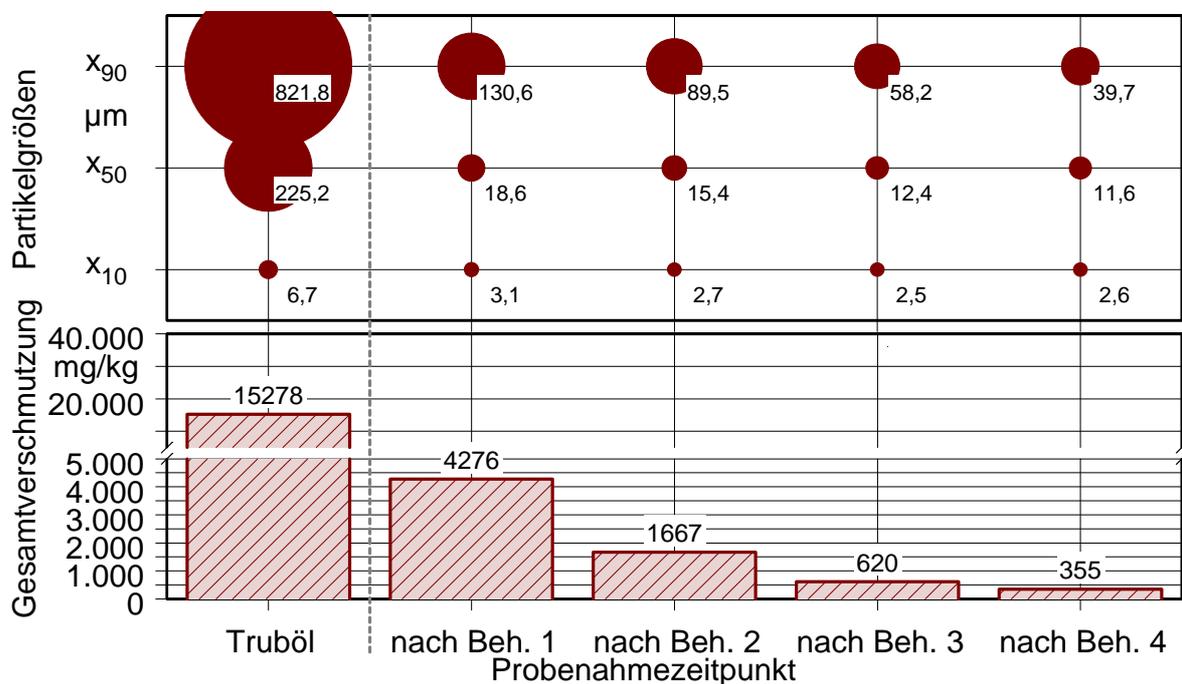


Abbildung 55: Reinigung von Rapsöl mit einem kontinuierlichen Sedimentations-system Typ B

Die kontinuierliche Sedimentation von Rapsöl stellt eine effektive Möglichkeit dar die Gesamtverschmutzung im Öl zu reduzieren. Die Abscheidung der größten Masse an Partikel, bezogen auf das Truböl, erfolgt in Behälter 1. Verfahrensbedingt verbleibt durch die Strömung im System ein nicht unwesentlicher Anteil kleiner Partikel mit einem x_{90} -Wert von ca. 40 μm in Schwebelage, so dass nach den vorliegenden Untersuchungen das Öl nach der Sedimentation eine Gesamtverschmutzung von bis zu 355 mg/kg aufweisen kann. Diese Partikel müssen durch eine anschließende Filtration abgetrennt werden. Das Einhalten eines Grenzwerts

von 25 mg/kg Gesamtverschmutzung nach dem RK-Qualitätsstandard 05/2000 ist allein durch eine kontinuierliche Sedimentation nicht möglich.

5.3 Filtration mit einer Kammerfilterpresse

Die Filtrationsversuche mit einer Kammerfilterpresse wurden mit zwei unterschiedlichen Filtermitteln sowie ohne und mit Zugabe von zwei verschiedenen Filterhilfsmitteln durchgeführt. Die ausführlichen Versuchs- und Ergebnisprotokolle sind im Anhang Seite 109 - 126 dargestellt. Abbildung 56 zeigt exemplarisch einen Filtrationsverlauf mit der Kammerfilterpresse. In Abbildung 57 sind die dazugehörigen Analysenergebnisse für die Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung dargestellt.

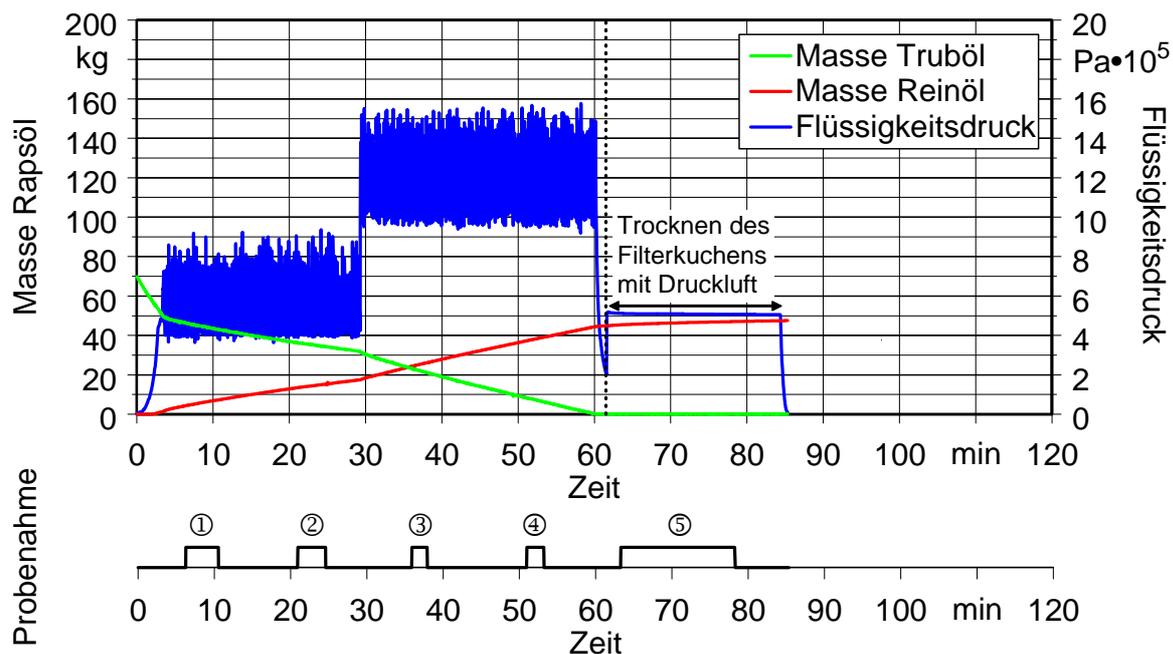


Abbildung 56: Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse (Filtermittel NKD 2319, ohne Filterhilfsmittel)

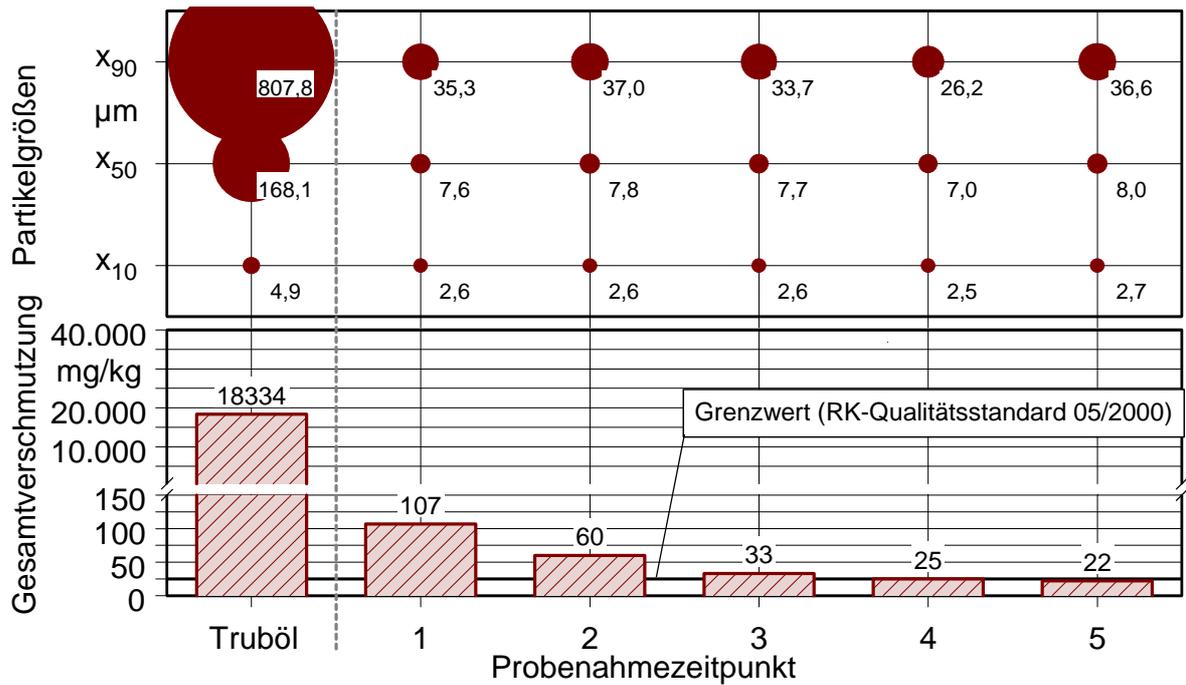


Abbildung 57: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einer Kammerfilterpresse (Filtermittel NKD 2319, ohne Filterhilfsmittel)

In allen Einzelversuchen konnte eine Reduzierung der Gesamtverschmutzung zumeist deutlich unter 50 mg/kg erreicht werden. Typische Werte für die Partikelgrößenverteilung im gefilterten Öl liegen bei einem x_{90} -Wert kleiner 40 µm, x_{50} -Wert kleiner 7 µm und einem x_{10} -Wert kleiner 3 µm. Die analysierten Werte für die Gesamtverschmutzung zum „Probenahmezeitpunkt 1“ zeigen, dass bis zum Aufbau des Filterkuchens deutlich höhere Gesamtverschmutzungen im Öl auftreten können. Wie die Theorie der kuchenbildenden Filtration (siehe Seite 27) besagt, trägt deshalb der Filterkuchen wesentlich zum Filtrationsergebnis bei. Bei einem der durchgeführten Filtrationsversuche (siehe Seite 109) wurde zum Ende des Filtrationsprozesses ein deutlicher Durchbruch an Partikel verzeichnet, der zu einem Anstieg der Gesamtverschmutzung über 2000 mg/kg in der Ölprobe führte. Die Trocknung des Filterkuchens mit Druckluft hatte in einigen Fällen auch eine vergleichsweise höhere Gesamtverschmutzung im ausgetriebenen Öl zur Folge. Der Ölgehalt im Filterkuchen variierte sehr stark und betrug minimal 50 Masse-%. Wechselnde Betriebszustände beim Flüssigkeitsdruck, zum Beispiel beim Wechsel vom Niederdruck- in den Hochdruckmodus, hatten nur in einer der untersuchten Varianten (siehe Seite 124) negative Auswirkung auf die Höhe der Gesamtverschmutzung im Öl. Dauerhaft geringe Flüssigkeitsdrücke kleiner 3 bar (siehe

Seite 115 und 116) mit einhergehenden vergleichsweise geringeren Massenströmen an Trüböl und Reinöl hatten keine eindeutig besseren Ergebnisse bezüglich der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im gefilterten Rapsöl zur Folge.

Mit dem **Filtermittel** E/23 Propex wurden bei gleicher Filterfläche höhere Massenströme an Trüböl und Reinöl erzielt als mit dem Filtermittel NKD 2319. Tendenziell wiesen die Ölproben bei Filtrationsversuchen mit dem Filtermittel E/23 Propex vergleichsweise niedrigere Gesamtverschmutzungen und geringere Anteile größerer Partikel auf.

Die Zudosierung der **Filterhilfsmittel** Lignocel und Becocel zum Trüböl bei Verwendung des Filtermittels NKD 2319 erwies sich als günstig. Zwar hatten die Filterhilfsmittel keine feststellbaren Auswirkungen auf die Höhe der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im gefilterten Öl, doch wurden die Drainageeigenschaften des Filterkuchens verbessert und dadurch zum Teil höhere Massenströme an Trüböl und Reinöl erreicht. Außerdem verschmutzten das Filtertuch NKD 2319 bei Verwendung von Filterhilfsmitteln nicht so stark und konnten besser vom anhaftenden Filterkuchen gereinigt werden. Das Filtertuch E/23 Propex in Kombination mit dem Filtermittel Becocel neigte hingegen eher zu Verstopfung. Der Filterkuchen war bei der Verwendung der Filterhilfsmittel vergleichsweise kompakter, als ohne Zusatz von Filterhilfsmitteln. Bei der Dosierung der Filterhilfsmittel erwies sich Lignocel durch seine pulverähnliche Struktur besser handhabbar als Becocel. Die auf den Seiten 120 bis 126 dargestellten Analyseergebnisse für die Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in den Trüböl-Filterhilfsmittel-Suspensionen sind nur bedingt verlässlich, da sich die Suspensionen sehr schnell entmischen und darum bei der Probenahme und auch bei der Probenteilung für die Analyse Fehler aufgetreten sein können. Die für die Versuche gewählte Konzentration an Filterhilfsmittel von ca. 1 Masse-% stellt noch keinen verfahrenstechnisch und ökonomisch optimierten Wert dar.

Zum Teil verstopfte bei den Filtrationsversuchen die Trübölleitung nach dem Druckkessel und der Trübölkanal, der von den Filterplatten gebildet wird. Die Ursachen für diesen Vorgang konnten jedoch nicht eindeutig geklärt werden. Ein mehr oder weniger starkes Abtropfen von Öl an den Filtertüchern wurde bei allen Versuchen beobachtet.

Deutlich zeigte sich in den Versuchsergebnissen, dass auch bei der Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse die Anforderungen an die Gesamtverschmutzung im Öl gemäß dem RK-Qualitätsstandard nicht prinzipiell eingehalten werden können. Auch spontan auftretende Störungen beim Filtrationsprozess, wie zum Beispiel ein Bruch des Filterkuchens, machen die Verwendung eines Sicherheitsfilters zwingend erforderlich.

5.4 Sicherheitsfiltration

5.4.1 Beutelfilter

Die Filtrationsversuche wurden mit zwei verschiedenen Filterbeuteln durchgeführt. Die detaillierten Versuchs- und Ergebnisprotokolle sind auf Seite 127 bis 131 dargestellt. Über den Filterbeutel AP 1 P 1-S wurden hintereinander zwei Chargen und über den Filterbeutel AP 5/3/1 P 1-SS drei Chargen Rapsöl gefiltert. Der Massenstrom Reinöl betrug bei der beschriebenen Filterbeutelgröße durchschnittlich 2,0 kg/min. Einen typischen Filtrationsverlauf und die Ergebnisse der Analysen auf Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung zeigen Abbildung 58 und Abbildung 59.

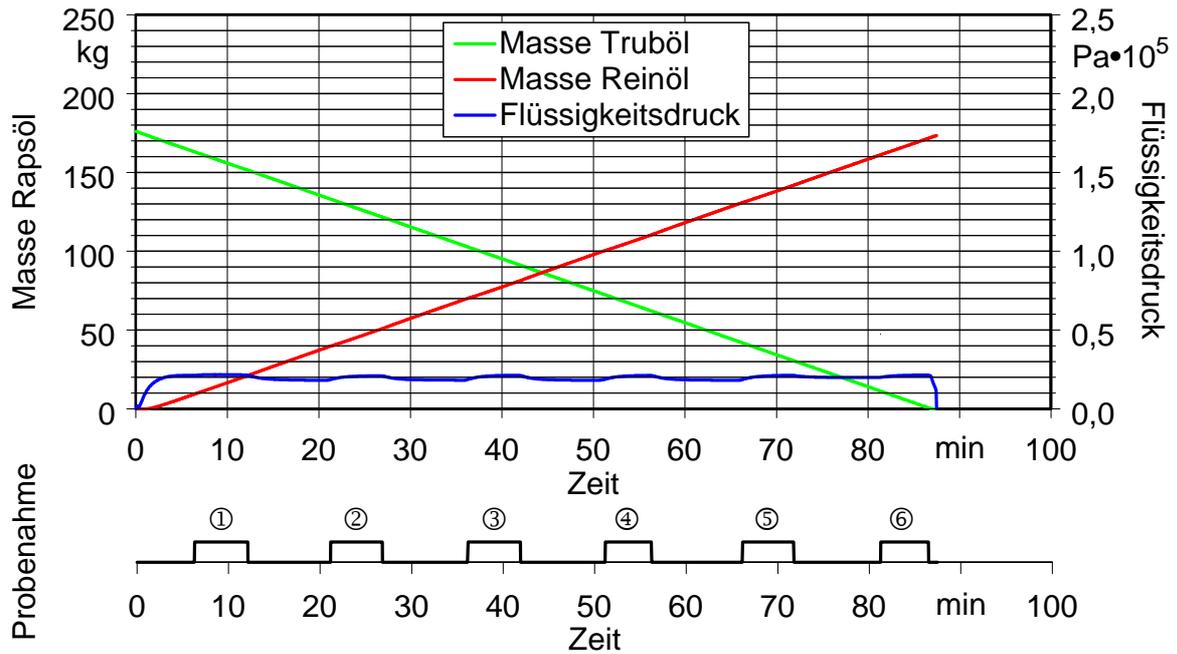


Abbildung 58: Filtration von Rapsöl mit einem Beutelfilter (Filterbeutel AP 1 P 1-S)

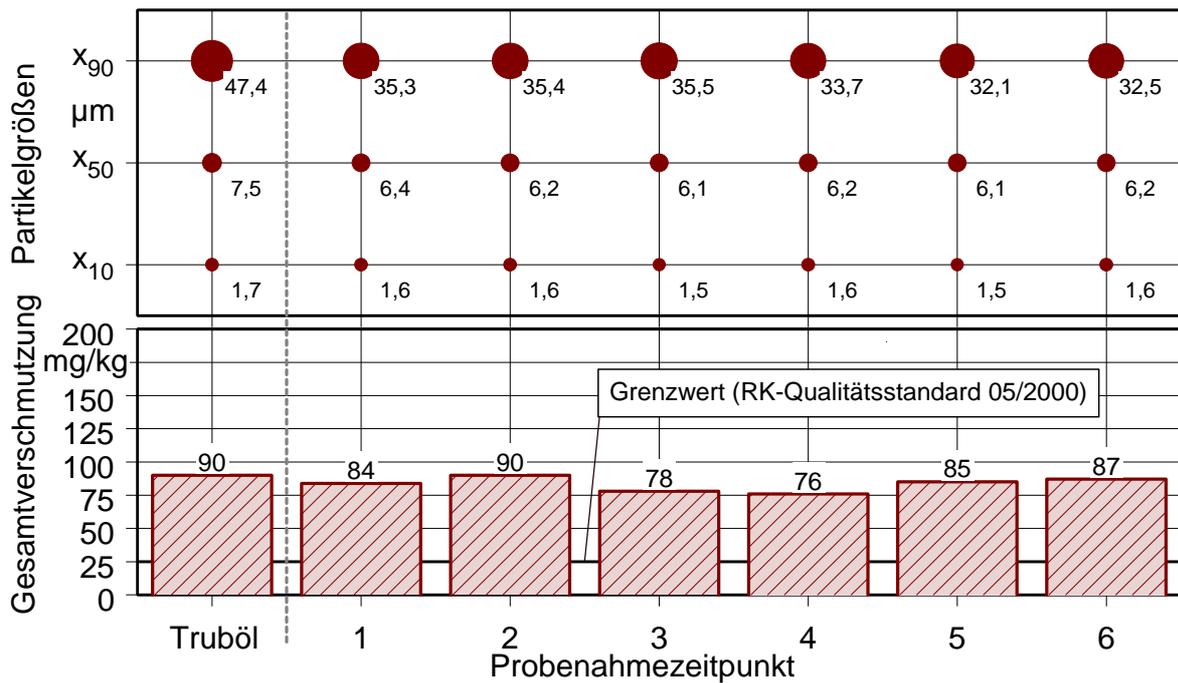


Abbildung 59: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Beutelfilter (Filterbeutel AP 1 P 1-S)

Die für die Versuche mit Rapsöl eingesetzten Filterbeutel erwiesen sich als nicht geeignet, da die Gesamtverschmutzung durch die Filtration nur unwesentlich reduziert wurde. War bezüglich der Gesamtverschmutzung beim Filterbeutel AP 1 P 1-S kein Reinigungseffekt feststellbar, so führte die Verwendung des Filterbeutels AP 5/3/1 P 1-SS zu einer geringfügigen Reduktion der Gesamtverschmutzung. Die Forderung einer Gesamtverschmutzung kleiner 25 mg/kg gemäß dem RK-Qualitätsstandard wurde von keiner der untersuchten Rapsölproben erfüllt. Bei den Untersuchungen am Filterbeutel AP 5/3/1 P 1-SS wurde bei Charge 1 und 3 eine tendenzielle Abnahme der Gesamtverschmutzung in der zeitlichen Abfolge der Probenahme beobachtet. Möglicherweise wird hier der positive Effekt eines sich aufbauenden Filterkuchens deutlich. Die Reinigungswirkung des Filterbeutels AP 5/3/1 P 1-SS konnte auch anhand der Analysen der Partikelgrößenverteilung verfolgt werden. Der x_{90} -Wert wurde auf kleiner 17 μm und der x_{50} -Wert auf ca. 5 μm gesenkt. Insgesamt war jedoch die Reinigungsleistung der untersuchten Filterbeutel für Rapsöl unbefriedigend.

5.4.2 Kerzenfilter

Als Filterkerzen wurden für die Versuche eine Baumwollkerze CW 001 A10 SC und eine Tiefenfilterkerze aus Polypropylen WS 01 10 U-X4N verwendet. Für die Versuche standen jeweils zwei Baumwoll- und Polypropylenkerzen zur Verfügung, über die eine unterschiedliche Anzahl an Rapsölchargen filtriert wurde. Details sind den Versuchsprotokollen zu entnehmen. Die Versuchs- und Ergebnisprotokolle für die Einzelversuche sind auf Seite 132 bis 145 dargestellt. Den Verlauf eines Filtrationsversuchs und die dazugehörigen Analysen der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung zeigen Abbildung 60 und Abbildung 61.

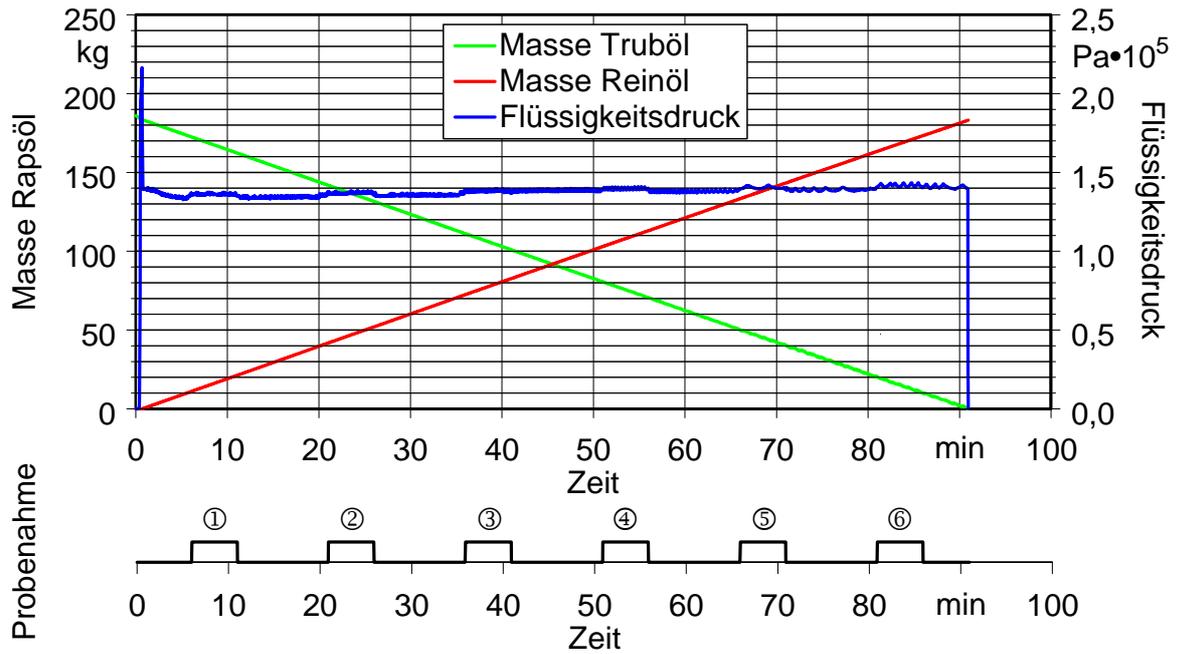


Abbildung 60: Filtration von Rapsöl mit einem Kerzenfilter (Filterkerze CW 001 A10 SC)

Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

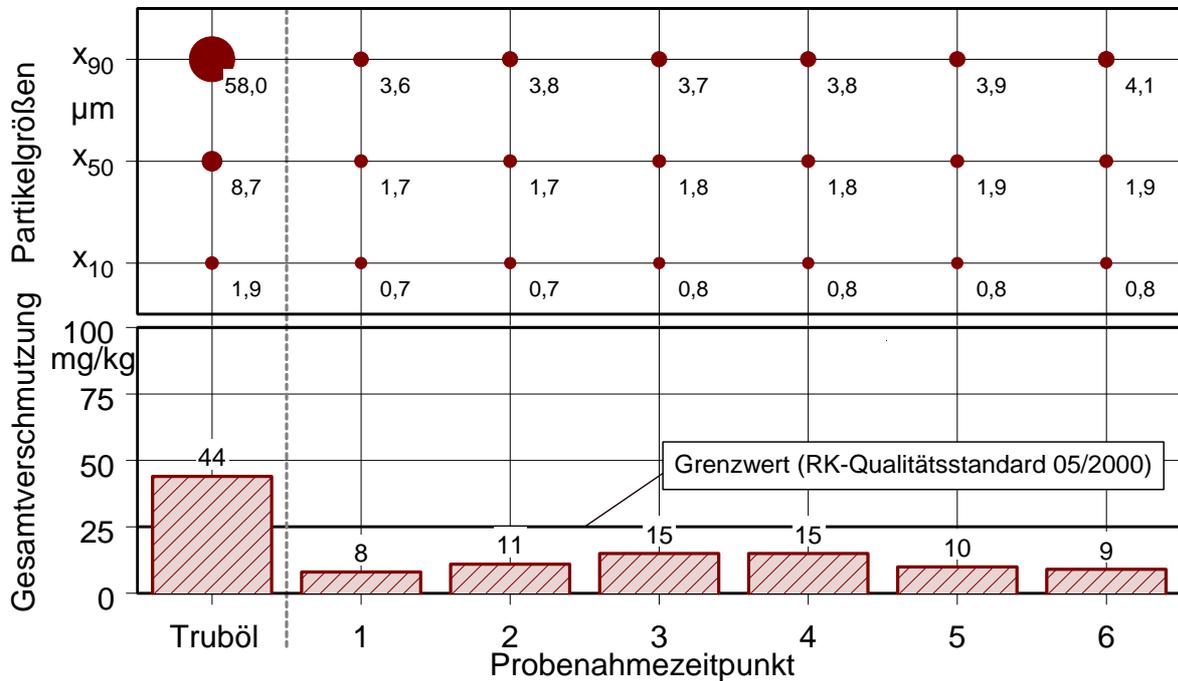


Abbildung 61: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Kerzenfilter (Filterkerze CW 001 A10 SC)

Alle analysierten Rapsölproben wiesen nach der Filtration mit der Baumwollkerze eine Gesamtverschmutzung kleiner 25 mg/kg auf. Der x_{90} -Wert wurde in Abhängigkeit vom Trüböl deutlich abgesenkt auf Werte zwischen 8 μm und 4 μm . Der x_{50} -Wert lag bei etwa 3 μm . Der Massenstrom des Reinöls wurde bei einer neuen Filterkerze mit durchschnittlich 2 kg/min ermittelt und nahm mit zunehmender Beaufschlagung mit Partikeln ab.

Auch mit der Polypropylenkerze konnte beispielsweise ein Trüböl mit einer Gesamtverschmutzung von 105 mg/kg, auf eine Gesamtverschmutzung im Reinöl unter 25 mg/kg gefiltert werden. Versuche mit einer zweiten Kerze und Trübölen mit geringerer Gesamtverschmutzung im Bereich von 25 mg/kg (siehe Seite 140 bis 145) zeigten, dass erst nach Bildung eines Filtrerrückstands auf der Kerze, die Gesamtverschmutzung merklich reduziert wurde. Der Massenstrom an Reinöl betrug bei einer neuen Filterkerze durchschnittlich 1,5 kg/min und verringerte sich mit zunehmender Filterbelegung. Eine Erhöhung des Flüssigkeitsdrucks zum Zeitpunkt der Filtererschöpfung (siehe Seite 145) hatte einen Partikeldurchschlag zur Folge. Analytierte Partikelgrößenverteilungen bei den Rapsölproben aus den unterschiedlichen Einzelversuchen mit x_{90} -Werten von ca. 3 μm verdeutlichen die sehr gute Trennschärfe dieser Filterkerze.

Für den Einsatz als Sicherheitsfilter bei der Reinigung von Rapsöl erscheint die Baumwollkerze CW 001 A10 SC als sehr gut geeignet. Bei ausreichend hohem Schmutzaufnahmevermögen garantiert dieser Kerzentyp die Einhaltung der Anforderungen an die Gesamtverschmutzung des RK-Qualitätsstandards. Trotz höherer Trennschärfe zeigt sich die Polypropylenkerze WS 01 10 U-X4N aufgrund des geringeren Schmutzaufnahmevermögens vergleichsweise weniger geeignet.

5.4.3 Tiefenfilter

Insgesamt wurden zehn Chargen Rapsöl zu je ca. 200 l mit dem CJC-Feinfilter gereinigt. Die Versuchsprotokolle und Analysenergebnisse sind auf Seite 146 bis 155 im Anhang aufgeführt. Exemplarisch zeigen Abbildung 62 und Abbildung 63 einen Filtrationsverlauf und die Analysenergebnisse der Rapsölproben.

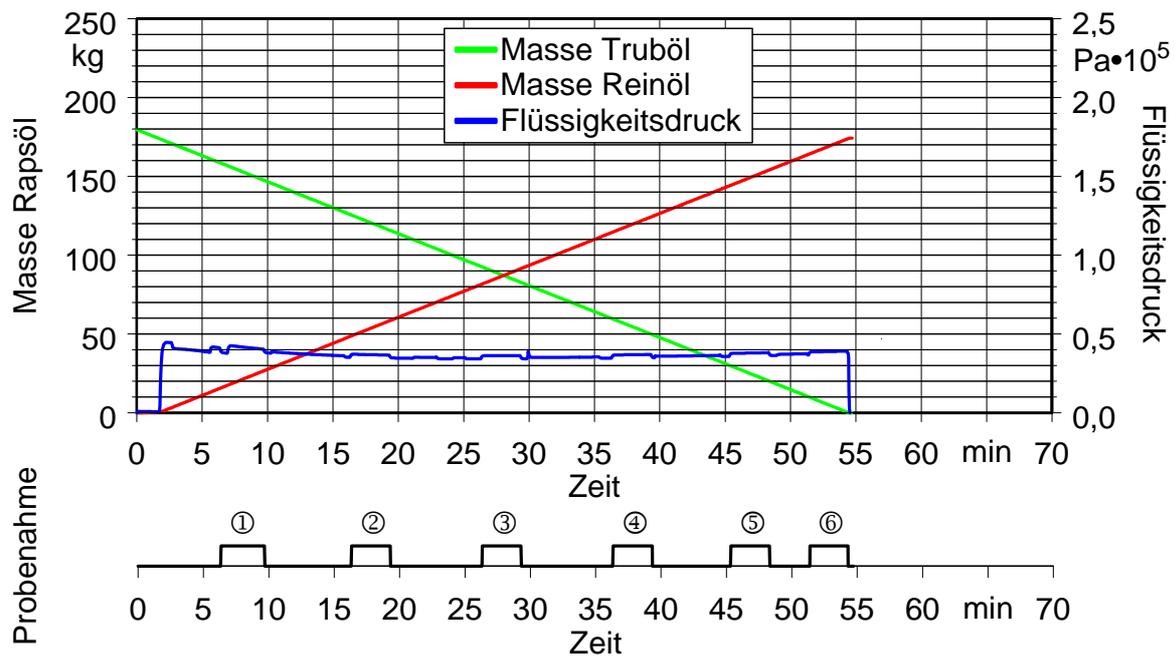


Abbildung 62: Filtration von Rapsöl mit einem Tiefenfilter CJC-Feinfilter (Filterpatrone B 27/54)

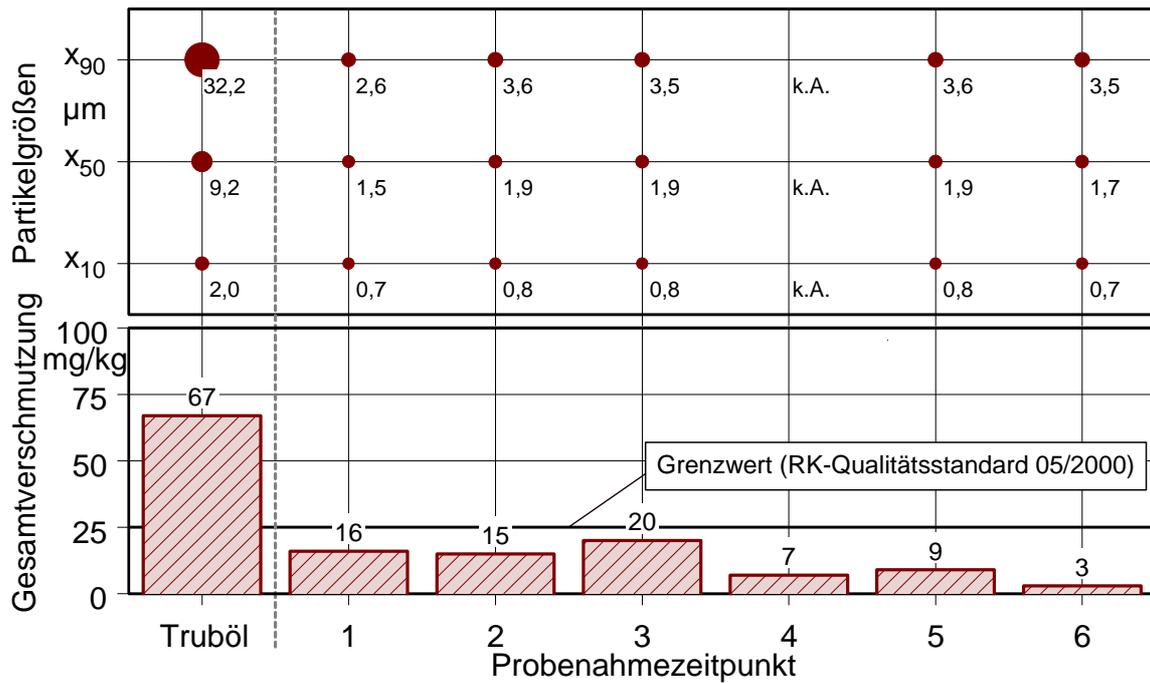


Abbildung 63: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Tiefenfilter CJC-Feinfilter (Filterpatrone B 27/54)

Bei der Feinfiltration von Rapsöl mit dem CJC-Feinfilter konnte eine deutliche Reduktion der Gesamtverschmutzung und eine wesentliche Reduktion grober Partikel erreicht werden. Die analysierten Rapsölproben nach Filtration weisen nahezu alle eine Gesamtverschmutzung kleiner 25 mg/kg auf. Der x_{90} -Wert ist bei den meisten der analysierten Rapsölproben kleiner 5 µm. Der x_{50} -Wert ist in der Regel kleiner 2 µm. Bei den mit k.A. (keine Angabe) gekennzeichneten Rapsölproben konnten aufgrund der geringen Partikelkonzentration und spezifischen Partikelverteilung im Rapsöl keine verlässlichen Messwerte für die Partikelgrößenverteilung analysiert werden. Dies deutet darauf hin, dass die Partikelgrößen im gefilterten Öl im Bereich der unteren Grenze des Messbereichs des Messgeräts liegen. Die auffallend hohe Gesamtverschmutzung zum „Probenahmezeitpunkt 6“ bei Filtration der ersten Rapsölcharge, siehe Seite 146, ist nicht erklärbar. Der ermittelte durchschnittliche Massenstrom des Reinöls betrug bei den Versuchen ca. 3 kg/min.

Aufgrund der analysierten Reinigungsleistung erscheint der Tiefenfilter CJC-Feinfilter für den Einsatz als Sicherheitsfilter für Rapsöl als geeignet. Die im RK-Qualitätsstandard geforderte Gesamtverschmutzung von kleiner 25 mg/kg in Rapsöl kann durch Filtration mit der Filterpatrone B 27 eingehalten werden. Eine Abschätzung des Schmutzaufnahmevermögens und damit der Filterstandzeit ist mit den vorliegenden Daten nicht möglich.

5.4.4 Schichtenfilter

Mit drei Filterschichten-Typen HS 6000, HS 2000 und HS 800 wurden jeweils zwei Einzelversuche durchgeführt. Der Schichtenfilter wurde für jeden Einzelversuch mit einem neuen Filterschichtensatz ausgestattet. Die Versuchsprotokolle und die Ergebnisse der Gesamtverschmutzungs- und Partikelgrößenanalyse sind auf den Seiten 156 bis 161 dargestellt. Einen exemplarischen Filtrationsversuch und die dazugehörigen Analysenergebnisse der Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung der Rapsölproben zeigen Abbildung 64 und Abbildung 65.

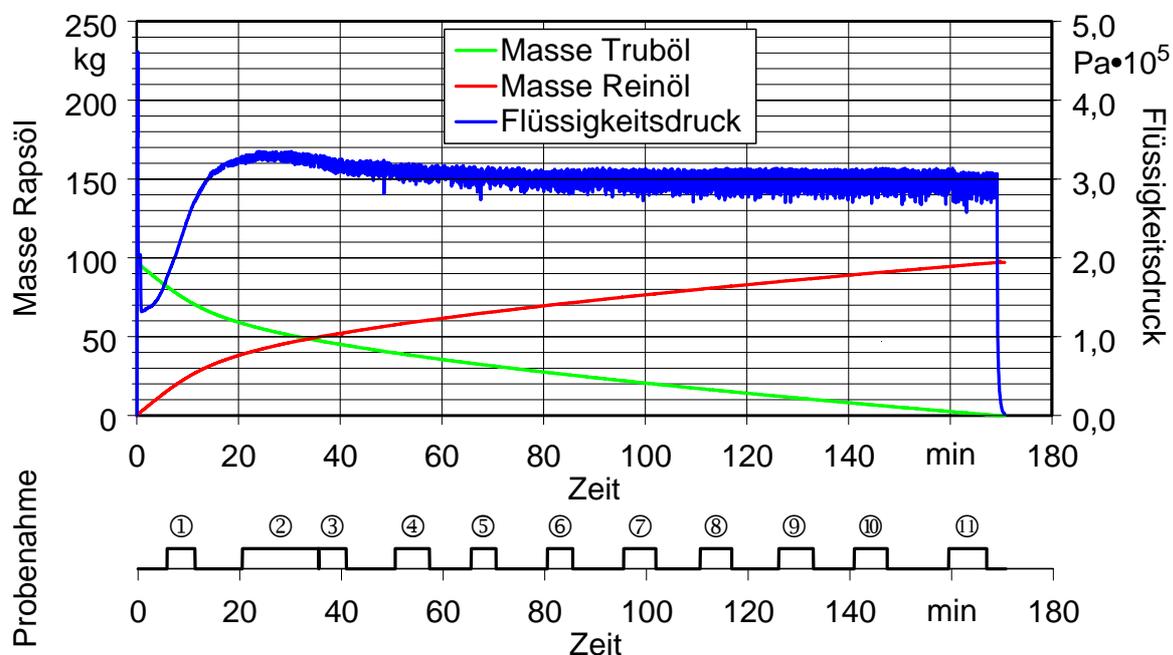


Abbildung 64: Filtration von Rapsöl mit einem Schichtenfilter (Filterschicht HS 6000)

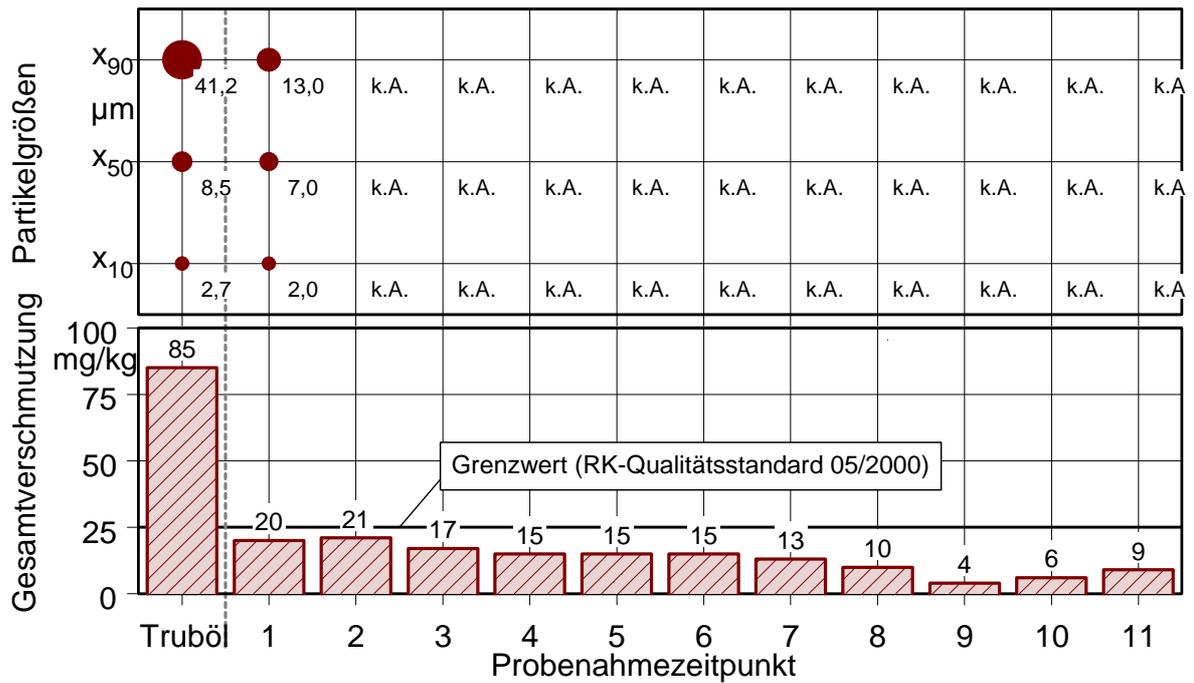


Abbildung 65: Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung in Rapsöl vor und nach Filtration mit einem Schichtenfilter (Filterschicht HS 6000)

Alle aus den Einzelversuchen analysierten Rapsölproben wiesen nach der Filtration eine Gesamtverschmutzung kleiner 25 mg/kg auf. Aufgrund der geringen optischen Konzentration der Partikel im Öl konnte bei den Ölproben keine Partikelgrößenverteilung ermittelt werden. Dies deutet daraufhin, dass die nach der Filtration im Öl verbliebenen Partikel eine Größe im Bereich der unteren Nachweisgrenze von 0,5 µm aufweisen. Bezüglich der resultierenden Gesamtverschmutzung in den Ölen, konnte zwischen den untersuchten drei Filterschichten keine deutlichen Unterschiede festgestellt werden. Der durchschnittliche Massenstrom bei einer Filterfläche von 0,16 m² betrug ca. 0,5 kg/min. Bei allen Versuchen tropfte Öl von den Filterschichten ab.

Die sehr gute Trennschärfe der untersuchten Filterschichten erlauben den Einsatz des Schichtenfilters bei der Sicherheitsfiltration von Rapsöl. Zu den Standzeiten der Filterschichten sind mit den vorliegenden Untersuchungen jedoch keine Aussagen möglich.

In Tastversuchen wurde zusätzlich geprüft, ob sich der Schichtenfilter, ausgestattet mit der Filterschicht HS 6000 und breitem Trubrahmen, auch für die Filtration von Truböl direkt nach der Ölpresse eignet. Damit könnte möglicherweise Grobklärung und Sicherheitsfiltration mit einem Filterapparat bewerkstelligt werden. Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass aufgrund der hohen Gesamtverschmutzung im Truböl keine akzeptablen Durchflussraten erreicht werden.

6 Einordnung der Ergebnisse und Ausblick

Die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung im Trüböl direkt nach der Ölpresse werden durch die Rapssaat, den Verschleißgrad der Pressgarnitur und die Prozessparameter bei der Ölpresung beeinflusst. Dabei sind die Einflüsse der Rapssaat auf die Höhe der Gesamtverschmutzung deutlicher als auf die Partikelgrößenverteilung. Die Einflüsse des Verschleißgrads der Pressgarnitur und der Prozessparameter bei der Ölpresung auf die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung sind stärker als der Einfluss der Rapssaat.

Der Reinigungsprozess bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung muss deshalb ständig an die Eigenschaften des Trüböls angepasst und überwacht werden. Aus den vorliegenden Untersuchungen können zwar keine idealen Eigenschaften für das Trüböl bezüglich Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung für einen optimierten Reinigungsprozess abgeleitet werden, jedoch stellen die ermittelten Spannweiten der auftretenden Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im Trüböl wichtige Informationen für die Auslegung der Reinigungssysteme dar. Die Ölgewinnung mit den Komponenten Ölsaate, Ölpresung und Reinigung, muss nach wie vor als Gesamtsystem empirisch optimiert werden.

Die kontinuierliche Sedimentation zur Reinigung von Rapsöl ist eine effektive Möglichkeit der Grobklärung von Rapsöl. Die Vorteile des beschriebenen Sedimentationssystems liegen in der kontinuierlichen Betriebsweise, in der einfachen Trübstoffentnahme und im geringen Energiebedarf. Wegen des relativ hohen Raumbedarfs sind Sedimentationsverfahren jedoch nur für Ölgewinnungsanlagen mit geringem Saateumsatz, etwa bis zu 50 kg Ölsaate pro Stunde geeignet. Das abgeschiedene Sediment ist im Vergleich zu Filterkuchen stärker ölhaltig. Der zu Filtrationsverfahren relativ höhere Anteil Partikel im geklärten Öl in der Größenordnung von 1 % des Partikelgehalts im Trüböl, macht den Einsatz von Sicherheitsfiltern mit vergleichsweise hohem Schmutzaufnahmevermögen erforderlich.

Die Grobklärung von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse ist für dezentrale Ölgewinnungsanlagen mit nahezu beliebig hohem Saatchdurchsatz durchführbar. Während der Startphase der Filtration sollte das Filtrat, bis sich ein Filterkuchen auf dem Filtermittel (Filtertuch) aufgebaut hat, wieder dem Truböl zugeführt werden. Anschließend kann durch Filtration mit einer Kammerfilterpresse eine Gesamtverschmutzung im gefilterten Öl kleiner 50 mg/kg erreicht werden. Sowohl das Filtermittel NKD 2319 als auch das Filtermittel E/23 Propex haben sich in den Untersuchungen bewährt. Der Einsatz von Filterhilfsmitteln ist nicht zwingend erforderlich, kann aber dazu beitragen, dass der Filterkuchen kompakter vorliegt und dieser sich leichter von den Filtertüchern ablösen lässt. Falls eine Trocknung des Filterkuchens mit Druckluft durchgeführt wird, um den Ölgehalt im Filterkuchen zu senken, sollte das ausgetriebene Öl dem Truböl zugeführt werden, da dieses eine vergleichsweise höhere Gesamtverschmutzung aufweisen kann. In Ausnahmefällen kann es beim Betrieb der Kammerfilterpresse zu Ablagerungen im Druckkessel, in der Zuleitung zu den Filterkammern und im Mittelkanal der Filterkammern kommen. Ein ursächlicher Zusammenhang mit dem Partikelgehalt und der – größenverteilung im Truböl wird vermutet, konnte aber nicht nachgewiesen werden. Selten wurde während dem Filtrationsprozess ein plötzlicher Partikeldurchschlag beobachtet, der möglicherweise durch abbrechenden oder rissigen Filterkuchen verursacht wird. Für diese Fälle und zur weiteren Reduktion der Gesamtverschmutzung auf ein anzustrebendes Niveau unter 25 mg/kg Gesamtverschmutzung, gemäß dem „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff 05/2000“ ist der Einsatz eines Sicherheitsfilters zwingend erforderlich.

Ein Kerzenfilter, ein Tiefenfilter aus dem Bereich der Schmierstoffaufbereitung und ein Schichtenfilter haben sich in den Untersuchungen für den Einsatz als Sicherheitsfilter bewährt. Die in einem Beutelfilter eingesetzten zwei unterschiedlichen Filterbeutel haben hingegen die Erwartungen nicht erfüllt. Beide Filterbeuteltypen weisen eine zu geringe Abscheiderate auf, wodurch keine wesentliche Verringerung der Gesamtverschmutzung im gefilterten Öl festgestellt werden konnte. Die untersuchte Filterpatrone im Tiefenfilter und die getesteten Schichten im Schichtenfilter haben eine hohe Trennschärfe wodurch die Gesamtverschmutzung im gefilterten Öl unter 25 mg/kg gesenkt und größere Partikel im Öl bei der Analyse der Partikelgrößenverteilung nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Ebenso

haben sich die beiden untersuchten Filterkerzen bewährt, wobei die Filterkerze aus gewickelter Baumwolle ein vergleichsweise höheres Schmutzaufnahmevermögen aufweist.

Aufgrund der geringen Investitions- und der zu erwartenden geringen Betriebskosten ist nach vorliegenden Untersuchungen ein Kerzenfilter mit einer Filterkerze aus gewickelter Baumwolle als Sicherheitsfilter bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung zu empfehlen.

7 Zusammenfassung

Bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung nimmt die Reinigung großen Einfluss auf die Qualität der Pflanzenöle. Durch Sedimentation oder Filtration erfolgt die Abtrennung des größten Anteils der im Pflanzenöl vorhandenen Partikel. Der zusätzliche Einsatz sogenannter Sicherheitsfilter mit definierter Porenweite am Ende des Ölreinigungsprozesses ist besonders wichtig. Damit können zum einen letzte Verunreinigungen zurückgehalten werden, zum anderen Prozessfehler bei der Ölreinigung durch den überproportionalen Anstieg des Differenzdrucks am Sicherheitsfilter erkannt werden. Analysen von Rapsölkraftstoff zeigten, dass die Einhaltung des im „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff 05/2000“ festgelegten Grenzwerts für die Gesamtverschmutzung von maximal 25 mg/kg häufig Probleme bereitet.

Zunächst wurde der Einfluss der Rapssaat und des Ölgewinnungsprozesses auf die Partikelmenge (Gesamtverschmutzung) und die Partikelgrößenverteilung im Rapsöl als Ausgangsparameter für den Ölreinigungsprozess ermittelt.

Die Abscheidewirkung eines kontinuierlichen Sedimentationssystems wurde überprüft und die Einflussfaktoren Filtermittel und Filterhilfsmittel bei der Filtration von Rapsöl mit einer Kammerfilterpresse, unter Berücksichtigung der Eingangsgrößen Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung im ungereinigten Öl untersucht. Beutelfilter, Kerzenfilter, Tiefenfilter und Schichten-Tiefenfilter wurden auf ihre Eignung als Sicherheitsfilter getestet. Als Zielgrößen wurden jeweils die Gesamtverschmutzung und die Partikelgrößenverteilung im gereinigten Öl analysiert. Der Massenstrom des ungereinigten und des gereinigten Öls sowie der Flüssigkeitsdruck im Filter wurden dokumentiert.

Die Analytik der Gesamtverschmutzung erfolgte als Dreifachbestimmung nach DIN EN 12662. Die Partikelgrößenverteilung wurde durch Laserbeugungsspektroskopie bestimmt und aus fünf einminütigen Einzelmessungen gemittelt.

Sowohl das kontinuierliche Sedimentationsverfahren als auch das Filtrationsverfahren mit einer Kammerfilterpresse können bei der dezentralen Ölsaatenverarbeitung erfolgreich eingesetzt werden. Ein Kerzenfilter mit einer Filterkerze aus gewickelter Baumwolle hat sich als Sicherheitsfilter besonders bewährt.

8 Summary

The way of clarifying of vegetable oils, produced in small scale oil mills, has strong influence on the quality of these oils. Most of the particles in the oil can be separated by settling or filtration. But in addition it is absolutely necessary to filter the oil at the end of the clarifying process through a safety filter with a defined porosity. By this fine-filtration, remaining particles can be held back and faults in the clarifying process can be recognized by a rising pressure-difference at the filter. Analyses of rapeseed oil fuel samples showed, that there are often problems in practice to fulfill the requirements for contamination of maximum 25 mg/kg, fixed in the "Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel 05/2000".

The first step of this research work was, to investigate the influence of the rapeseed quality and the oil milling process on particle mass (contamination) and particle size distribution, describing the oil quality before the oil clarifying process.

Then the separation effect of a continuous settling system and the influence of different filter media and filter aid on the filtration with a chamber filter press were examined. Finally a candle-filter, a bag-filter, a depth-filter and a sheet-filter were tested for use as a safety filter. In all test series the contamination and the particle size distribution of the unclarified and clarified oil were analysed. The mass flows of the unclarified and clarified oil and the liquid pressure in the filter system were monitored.

The contamination was analysed by the method DIN EN 12662 as a triple analysis. The particle size distribution was calculated as a mean value of five one minute measurements by laser diffraction (Fraunhofer method).

The continuous settling system as well as the filtration with a chamber filter press can be used successfully for the clarifying of rapeseed oil in small scale oil mills. A candle-filter with a candle made of cotton fibres is very appropriate to be used as a safety filter.

Literatur

- [1] AMAFILTER DEUTSCHLAND GMBH (1995): Technisches Bulletin D-6020 95/09/1 Beutelfilter. Düsseldorf: Eigenverlag Amafilter. 4 Seiten
- [2] AMAFILTER DEUTSCHLAND GMBH (1995): Technisches Bulletin D-6010 95/09/2 Filterbeutel- und körbe. Düsseldorf: Eigenverlag Amafilter. 4 Seiten
- [3] AMAFILTER DEUTSCHLAND GMBH (1998): Technisches Bulletin D-2300 98/06 AFL für niedrige Leistungen. Düsseldorf: Eigenverlag Amafilter. 2 Seiten
- [4] AMAFILTER DEUTSCHLAND GMBH (1998): Technisches Bulletin D-4440 98/01 Melts (Schmelzgeblasen Web). Düsseldorf: Eigenverlag Amafilter. 2 Seiten
- [5] AMAFILTER DEUTSCHLAND GMBH (1999): Technisches Bulletin D-4090 99/07 Premium Wounds. Düsseldorf: Eigenverlag Amafilter. 2 Seiten
- [6] ANLAUF, H. (1991): Physikalische Prinzipien der Fest/Flüssig-Trennung. In: HESS, W.F. und B. THIER (Hrsg.): Maschinen und Apparate zur Fest/Flüssig-Trennung. Essen: Vulkan-Verlag, S. 2-12
- [7] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1999): Winter- und Sommerraps 1999 - Versuchsergebnisse aus Bayern. Freising: Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau Eigenverlag (49 Seiten)
- [8] BENJAMINS, L. (1996): Modern Filtration Processes in the Vegetable Oil Industry. In: American Oil Chemists' Society (Hrsg.): Proceedings of AOCS World Conf. on Emerging Technology in the Fats and Oils Industry. S. 61-65
- [9] BOCKISCH, M. (1993): Nahrungsfette und -öle. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co (694 Seiten)
- [10] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FETTWISSENSCHAFTEN E.V. (2001): Unlösliche Verunreinigungen C-III 11a (84) In: Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
- [11] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR FETTWISSENSCHAFTEN E.V. (2001): Restölgehalt B-II 4a (98) In: Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH
- [12] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1998): DIN EN 12662: Flüssige Mineralölerzeugnisse – Bestimmung der Verschmutzung in Mitteldestillaten. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- [13] DICKENSON, T.C. (1997): Filters and Filtration Handbook. Oxford: Elsevier Science Ltd. (1079 Seiten)
- [14] E. BEGEROW GMBH & CO. (1999) Becocel – Technische Information und Sicherheitsdatenblatt. Langenlonsheim: Eigenverlag
- [15] ESKIN, N.A.M. et al. (1996): Canola Oil. In: Hui, Y.H. (Hrsg.): Bailey's Industrial Oil and Fat Products. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2, S. 1-95
- [16] GRAF, T.; R. HEYDRICH und D. KRAUSE (2000): Eignung von Sonderölsaaten, wie Nachtkerze, Saflor, Drachenkopf etc. für das Kaltpressverfahren. In: ÖHMI Consultung GmbH (Hrsg.): Narossa 2000 - 6. Internationaler Fachkongress für nachwachsende Rohstoffe. Magdeburg: Eigenverlag, S. 1-8

-
- [17] HESS, W. und B. THIER (1991): Maschinen und Apparate zur Fest/Flüssig-Trennung. Essen: Vulkan-Verlag (486 Seiten)
- [18] J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + Co (1997): Lignocel - Technische Information, Typenbeschreibung und Sicherheitsdatenblatt. Ellwangen-Holzmühle: Eigenverlag
- [19] KARBERG & HENNEMANN (unbekanntes Jahr): CJC Feinfilter. Hamburg: Eigenverlag
- [20] KRÄSKE, P. (2002): Feststoffgehalt und Partikelgrößenverteilung in kaltgepresstem ungereinigtem Rapsöl in Abhängigkeit vom Ölgewinnungsprozess. Diplomarbeit. Freising: Fachhochschule Weihenstephan, Fachbereich Land- und Ernährungswirtschaft (146 Seiten)
- [21] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E.V. (Hrsg.) (1999): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung - KTBL-Arbeitspapier 267. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH (130 Seiten)
- [22] LIU, H.; C.G. BILIADERIS; R. PRZYBYLSKI und N.A.M. ESKIN (1995): Physical behaviour and composition of low- and high-melting fractions of sediment in canola oil. Food Chemistry, Vol. 53, S. 35-41
- [23] MADISON FILTER GMBH (1998): E/23 Propex – Technische Daten. Salzgitter-Bad: Eigenverlag
- [24] NIEWIADOMSKI, H. (1990): Rapeseed -Chemistry and Technology. Amsterdam: Elsevier Science (448 Seiten)
- [25] OTTO MARKERT & SOHN GMBH (unbekanntes Jahr): NKD 2319 Datenblatt. Neumünster: Eigenverlag
- [26] PRESCHER, K.; S. BERNDT; J. GOLISCH und V. WICHMANN (2002): Praxiseinsatz neuer rapsöлтаuglicher Traktoren. In: C.A.R.M.E.N. E.V. (Hrsg.): 9. C.A.R.M.E.N.-Forum Qualitätsmanagement für Rapsölkraftstoff, Biodiesel und Biogas. Supplement zum Tagungsband.
- [27] RAß, M. und F.-H. SCHNEIDER (1997): Trennpresen geschälter Rapssaat - Rheologische Eigenschaften des linear gepreßten Feststoffbettes. Fett/Lipid, Vol. 99, Nr. 5, S. 174-185
- [28] RAß, M. (1999): Einstellung der Verarbeitungseigenschaften von Rapssaat für das Trennpresen. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 46-58
- [29] REMMELE, E.; K. WANNINGER; B.A. WIDMANN und H. SCHÖN (1997): Qualitätssicherung von Pflanzenölkraftstoffen. Analytik zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Pflanzenölen. Landtechnik, Vol. 52, Nr. 1, S. 34-35
- [30] REMMELE, E. und B. WIDMANN (1997): Pflanzenöltreinigung in dezentralen Anlagen. Landtechnik, Vol. 52, Nr. 4, S. 194-195
- [31] REMMELE, E. (1999): Öltreinigung bei der Pflanzenölgewinnung in dezentralen Anlagen. In: KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 23-32

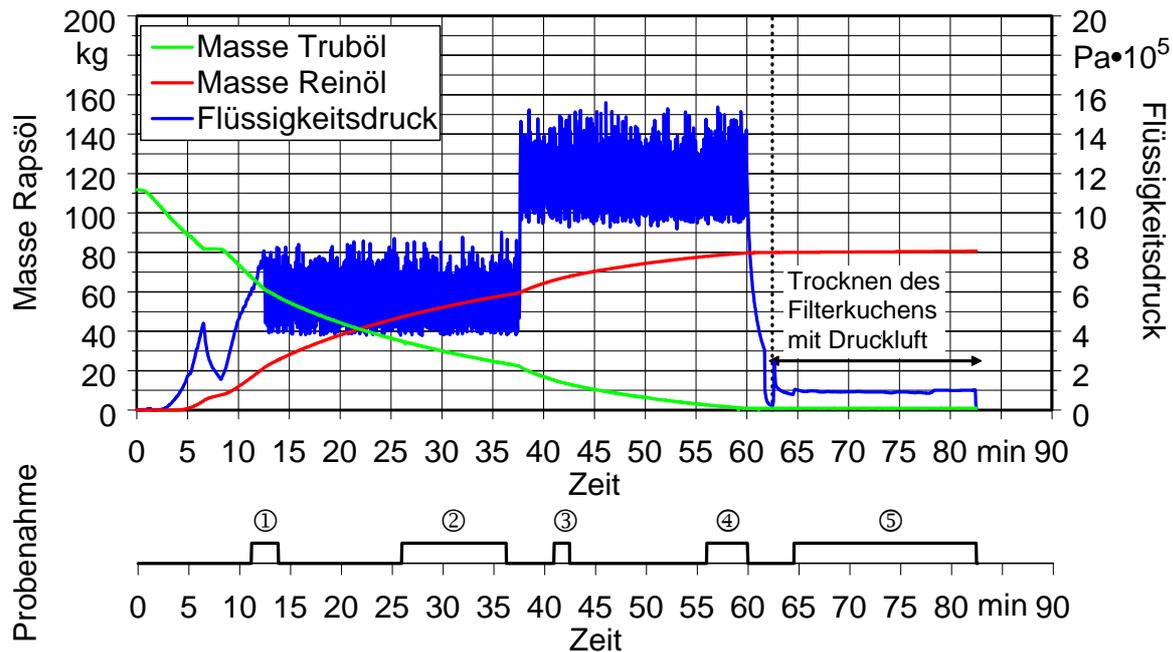
-
- [32] REMMELE, E.; K. THUNEKE; B. WIDMANN; T. WILHARM und H. SCHÖN (2000): Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenöлтаugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW - Endbericht zum Forschungsvorhaben. "Gelbes Heft" Nr. 69. München: Eigenverlag Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (217 Seiten)
- [33] RUSHTON, A.; A.S. WARD und R.G. HOLDICH (1996): Solid-Liquid Filtration and Separation Technology. Weinheim - New York - Basel: VCH Verlagsgesellschaft mbH (538 Seiten)
- [34] SCHNEIDER, F.H. (1999): Die Merkmale der Raps-Saat unter den Aspekten Trennpresen und Schälen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH, S. 33-45
- [35] SCHENK FILTERBAU GMBH (unbekanntes Jahr): Betriebsanleitung zum Tuchfilter TF 470/630 H mit Hydraulikhandpressung. Waldstetten: Eigenverlag
- [36] SCHENK FILTERBAU GMBH (unbekanntes Jahr): Schenk Niro Produktinformation. Waldstetten: Eigenverlag
- [37] SEITZSCHENK FILTERSYSTEMS GMBH (unbekanntes Jahr): Tiefenfilterschichten HS-Reihe – Produktinformation. Waldstetten: Eigenverlag
- [38] WIDMANN, B.A.; R. APFELBECK; B.H. GESSNER und P. PONTIUS (1992): Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht. "Gelbes Heft" Nr. 40 (Gesamtbericht) München: Eigenverlag Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (650 Seiten)
- [39] WIDMANN, B.A. (1994): Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Minderung des Phosphorgehaltes von Rapsöl bei der Gewinnung in dezentralen Anlagen. Dissertation: Arbeitskreis Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (Weihenstephan) (157 Seiten)
- [40] WIDMANN, B.A. (1994): Gewinnung und Reinigung von Pflanzenölen in dezentralen Anlagen - Einflußfaktoren auf die Produktqualität und den Produktionsprozeß. "Gelbes Heft" Nr. 51. München: Eigenverlag BayStMELF. Forschungsbericht: TU München, Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Freising-Weihenstephan (310 Seiten)
- [41] WIDMANN, B. (1998): Production of vegetable oils in decentral plants and aspects of quality management - Investigations on plants in practice to optimise the process. In: Kopetz, H.; T. Weber; W. Palz; P. Chartier und G.L. Ferrero (Hrsg.): Biomass for Energy and Industry. Proceedings of the International Conference Würzburg, Germany, 8-11 June 1998. Rimpf, Deutschland: C.A.R.M.E.N., S. 124-127
- [42] WIDMANN, B.; T. STELZER, E. REMMELE und M. KALTSCHMITT (2001): Produktion und Nutzung von Pflanzenölkraftstoffen. In: KALTSCHMITT, M. und H. HARTMANN (Hrsg.): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin. Springer-Verlag, S. 537-583

Anhang

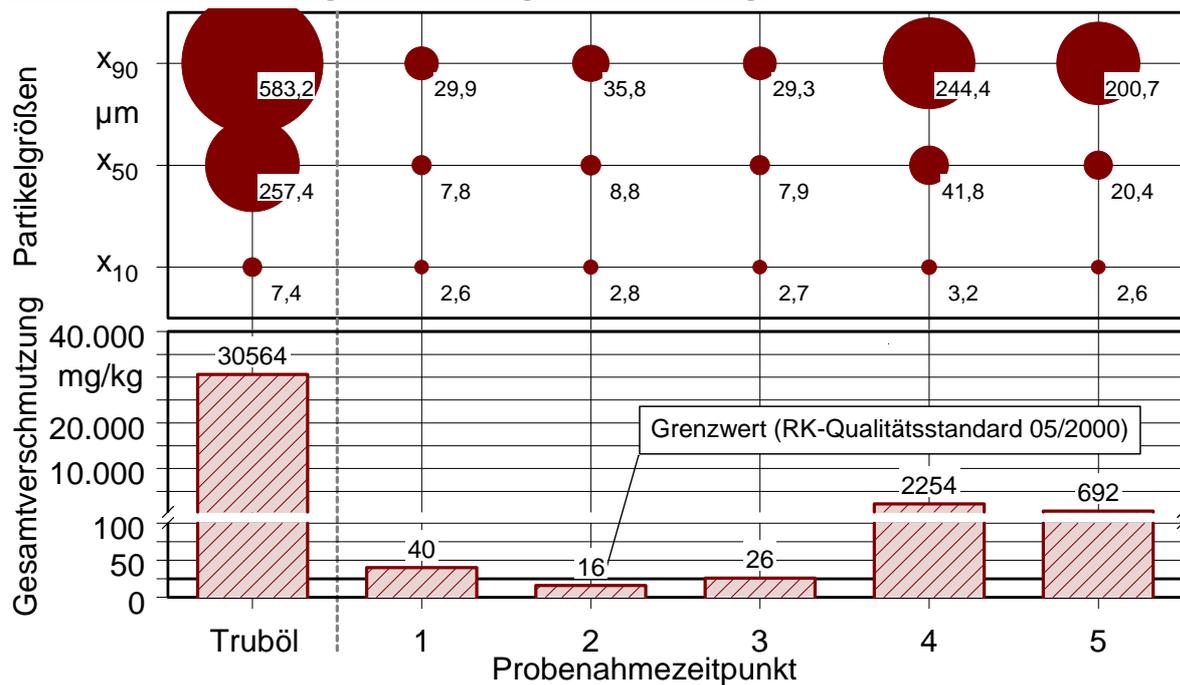
Versuchsprotokolle der Filtrationsversuche und Ergebnisse der
Analysen zur Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung

Kammerfilterpresse - Versuch 1

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



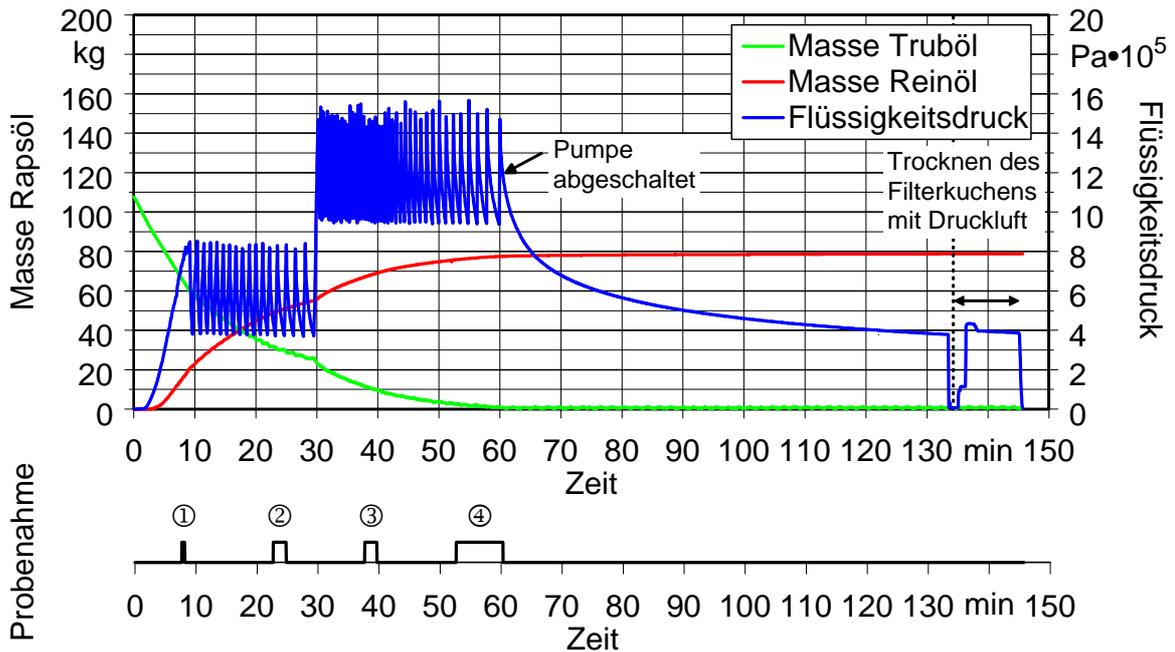
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	112	kg
Masse Reinöl gesamt	81	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,33	kg/min
Druck am Filter max.	15,60	bar
Masse Filterkuchen	12,9	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	54,7	Masse-%

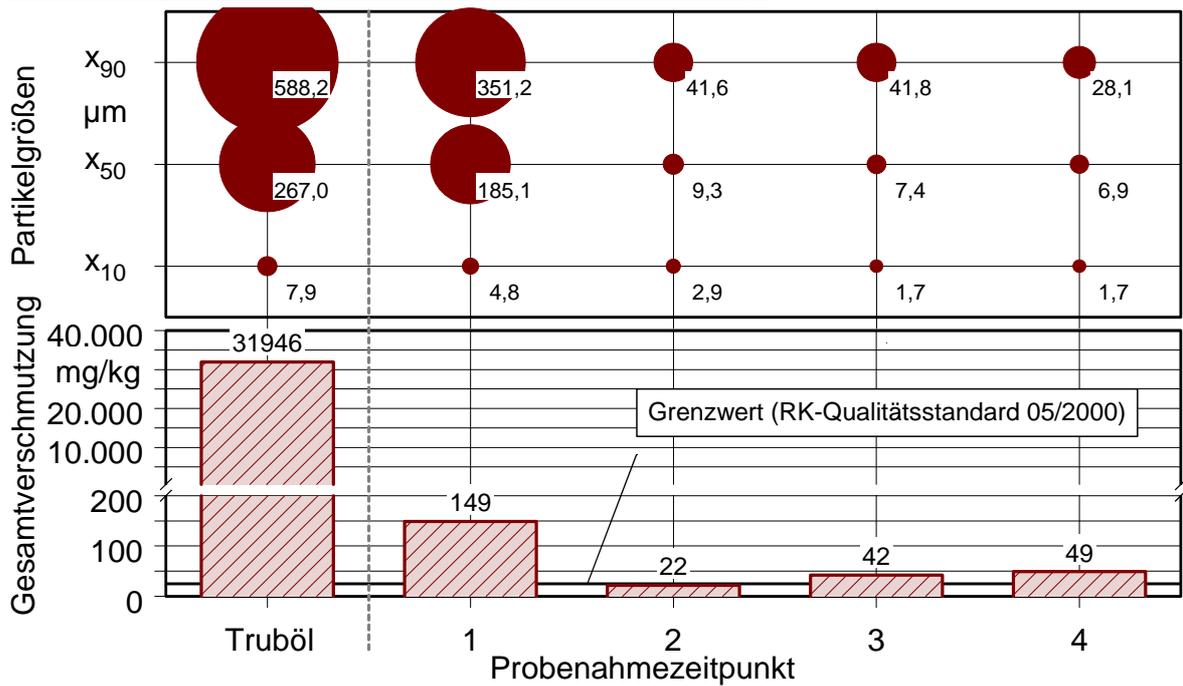
Anmerkungen: Probenahme 1 und 2 Teilstrom, 3-5 Hauptstrom, Durchschlag von Partikeln bei Probe 4 und 5, kompakter Filterkuchen

Kammerfilterpresse - Versuch 2

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

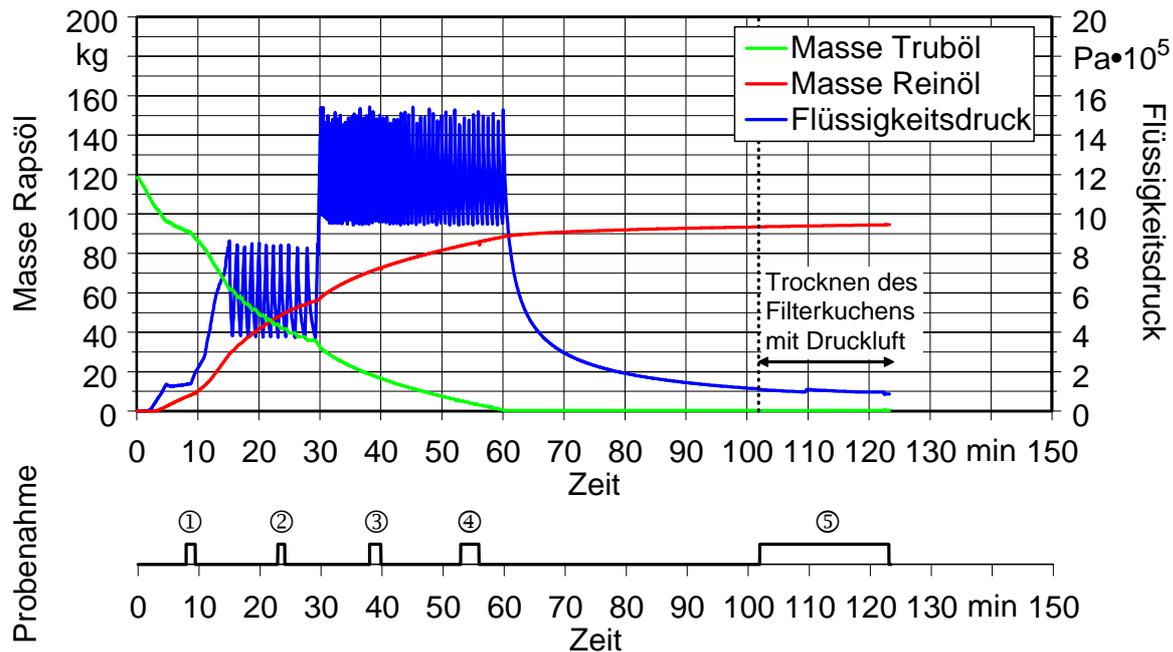
Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	108	kg
Masse Reinöl gesamt	79	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,26	kg/min
Druck am Filter max.	15,67	bar
Masse Filterkuchen	13,2	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	58,0	Masse-%

Anmerkungen:

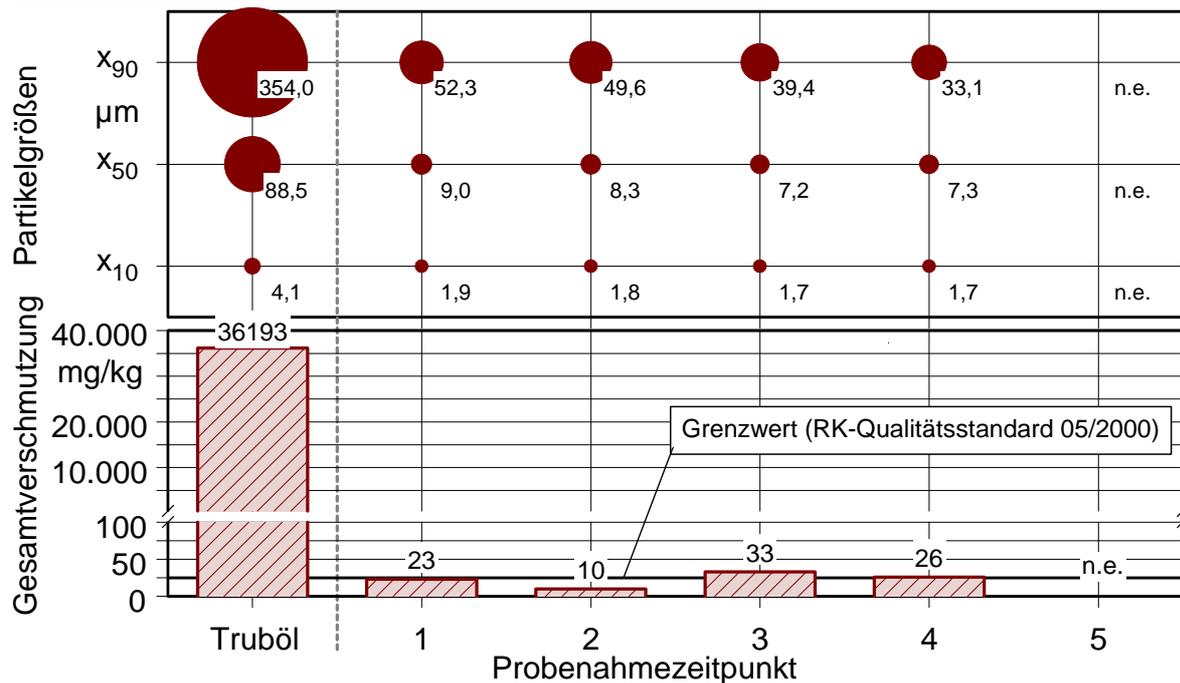
Probenahme 1-3 Teilstrom, 4 Hauptstrom, kompakter Filterkuchen

Kammerfilterpresse - Versuch 3

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



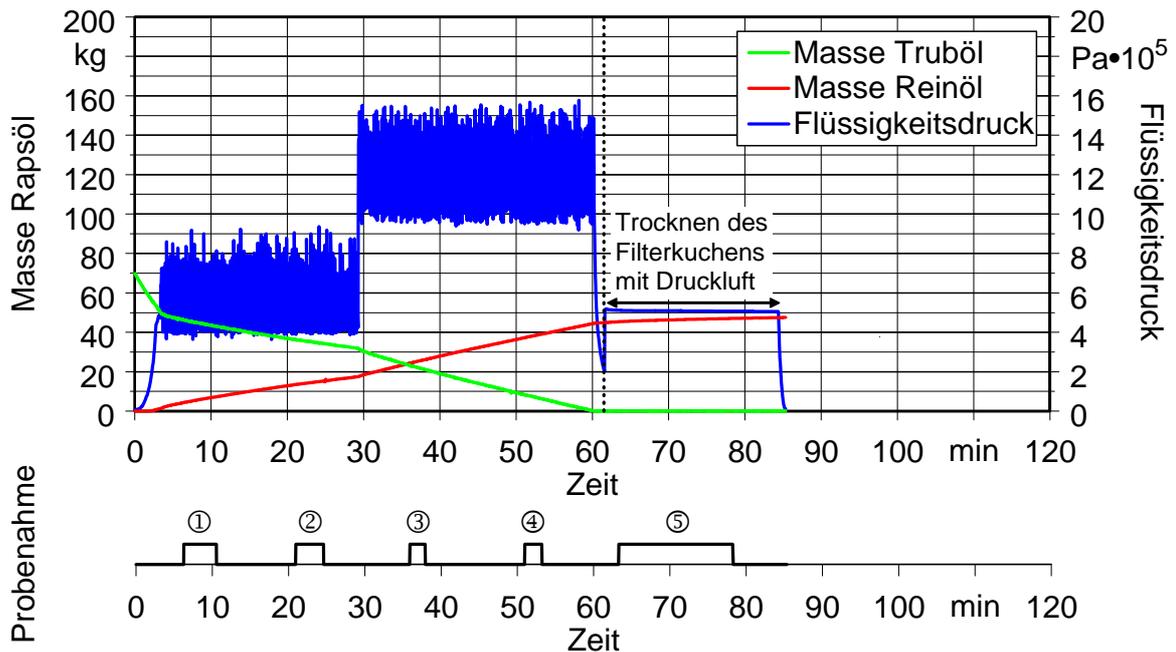
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	118	kg
Masse Reinöl gesamt	95	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,47	kg/min
Druck am Filter max.	15,43	bar
Masse Filterkuchen	15,2	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	57,3	Masse-%

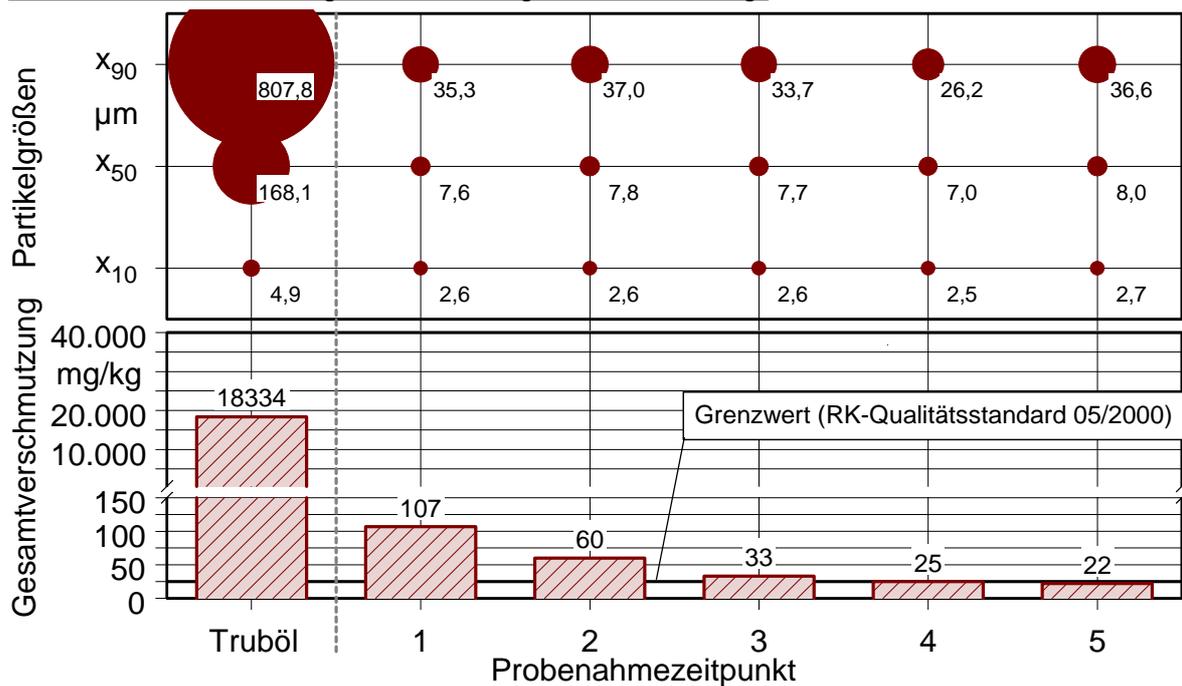
Anmerkungen: Probenahme 1-4 Teilstrom, 5 Hauptstrom, größere Mengen Öl tropfen von Filtertüchern ab, Druckkessel nach Abschalten noch mit Trüböl gefüllt

Kammerfilterpresse - Versuch 4

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



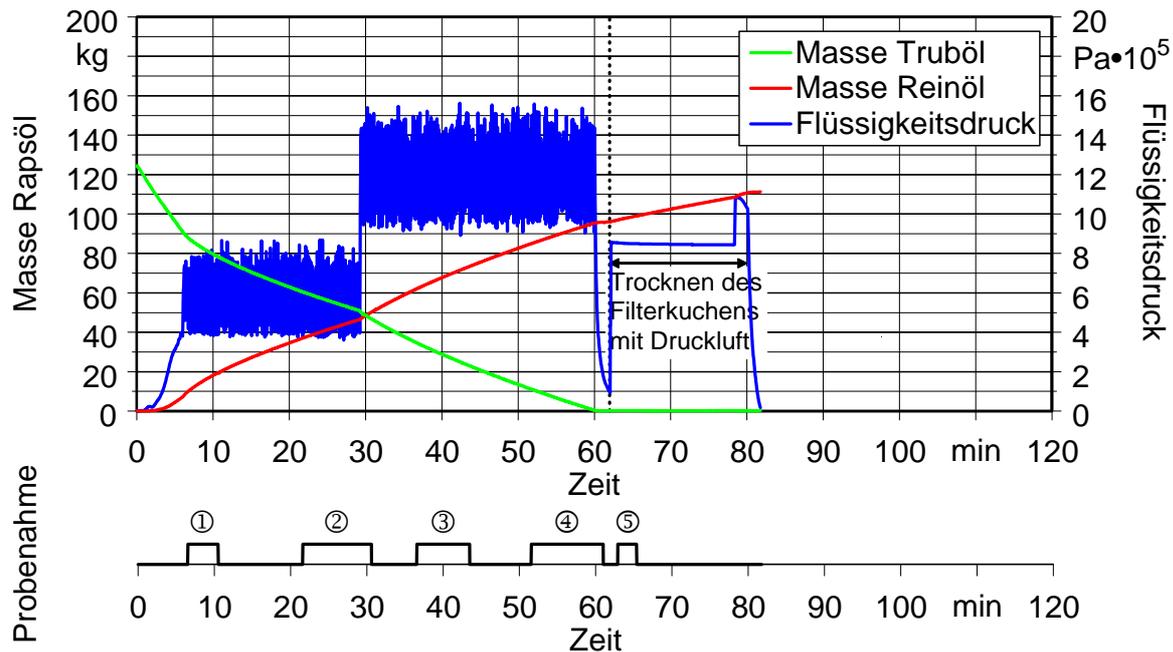
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	70	kg
Masse Reinöl gesamt	48	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,74	kg/min
Druck am Filter max.	15,77	bar
Masse Filterkuchen	18,7	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	n.e.	Masse-%

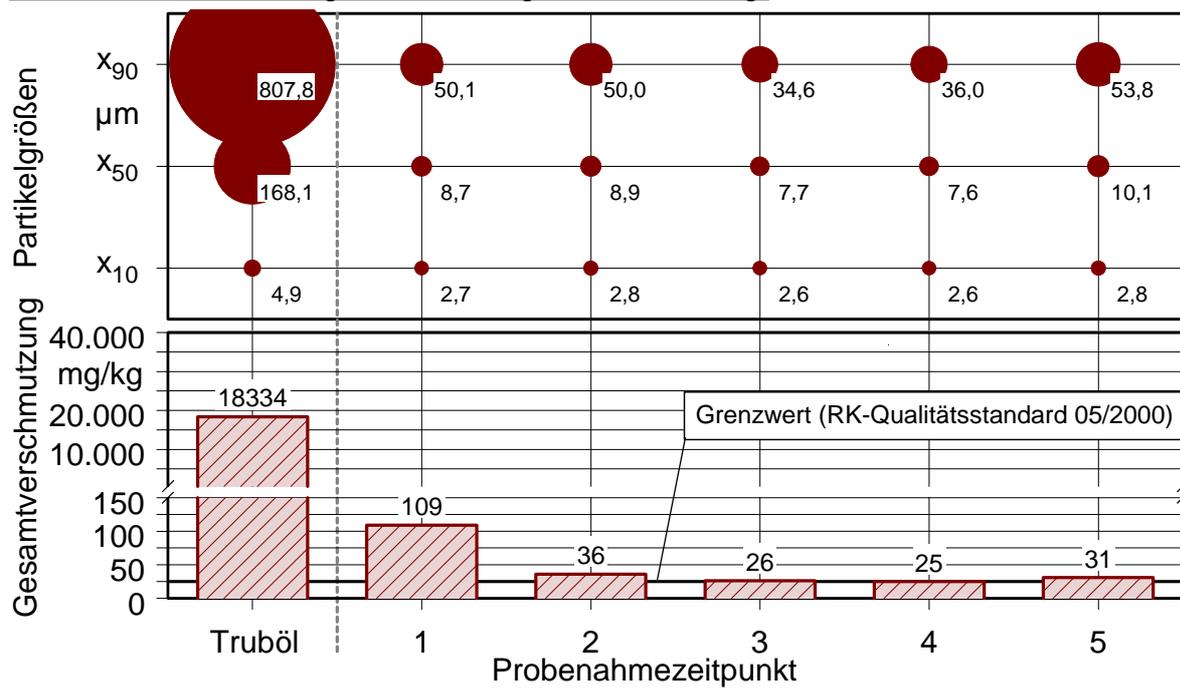
Anmerkungen: Probenahme 1-5 Hauptstrom, größere Mengen Öl tropfen von Filtertüchern ab, Filterkuchen stark ölhaltig

Kammerfilterpresse - Versuch 5

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

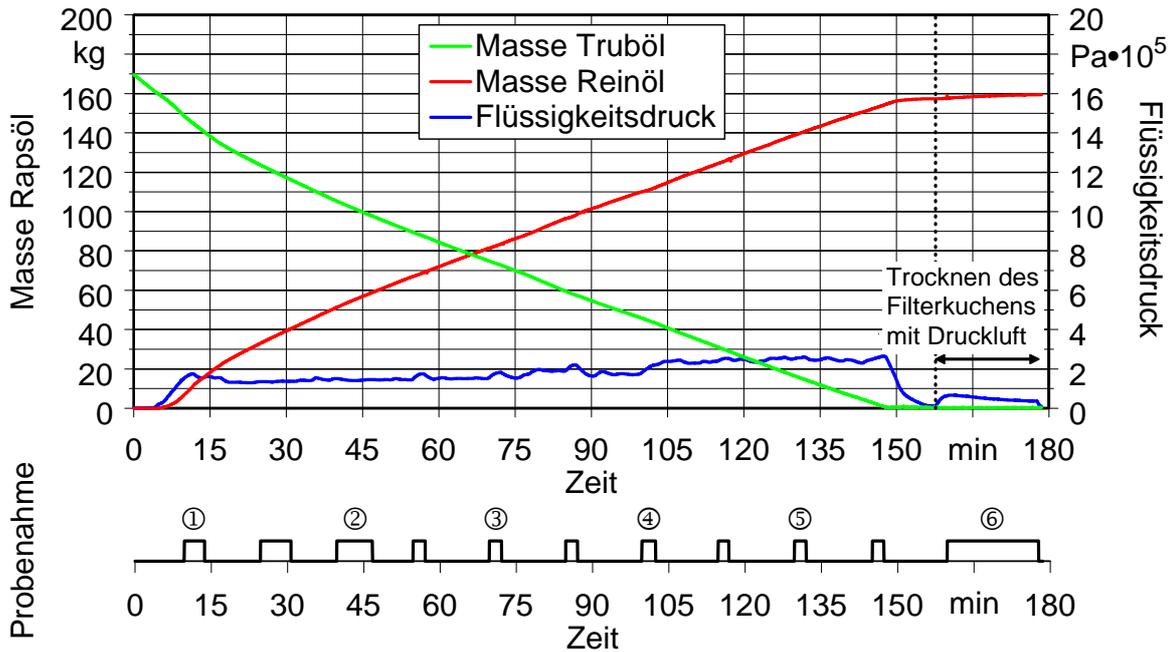
Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	125	kg
Masse Reinöl gesamt	111	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,6	kg/min
Druck am Filter max.	15,62	bar
Masse Filterkuchen	8,8	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	67,3	Masse-%

Anmerkungen:

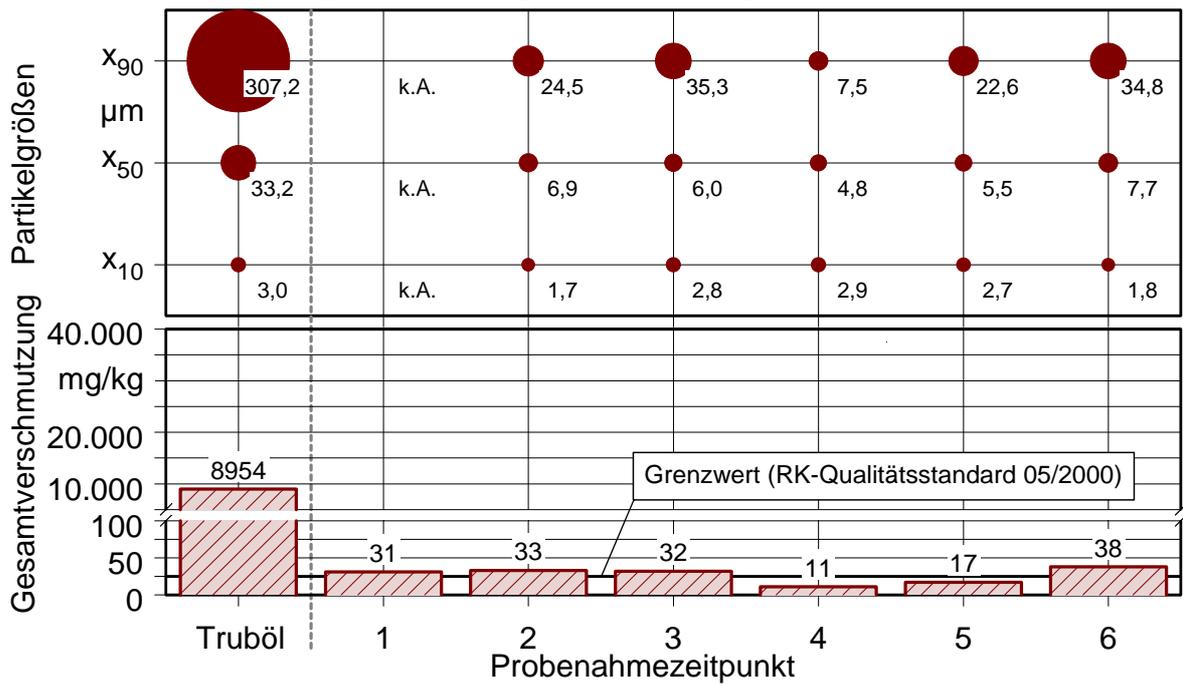
Probenahme 1–4 Teilstrom, 5 Hauptstrom

Kammerfilterpresse - Versuch 6

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

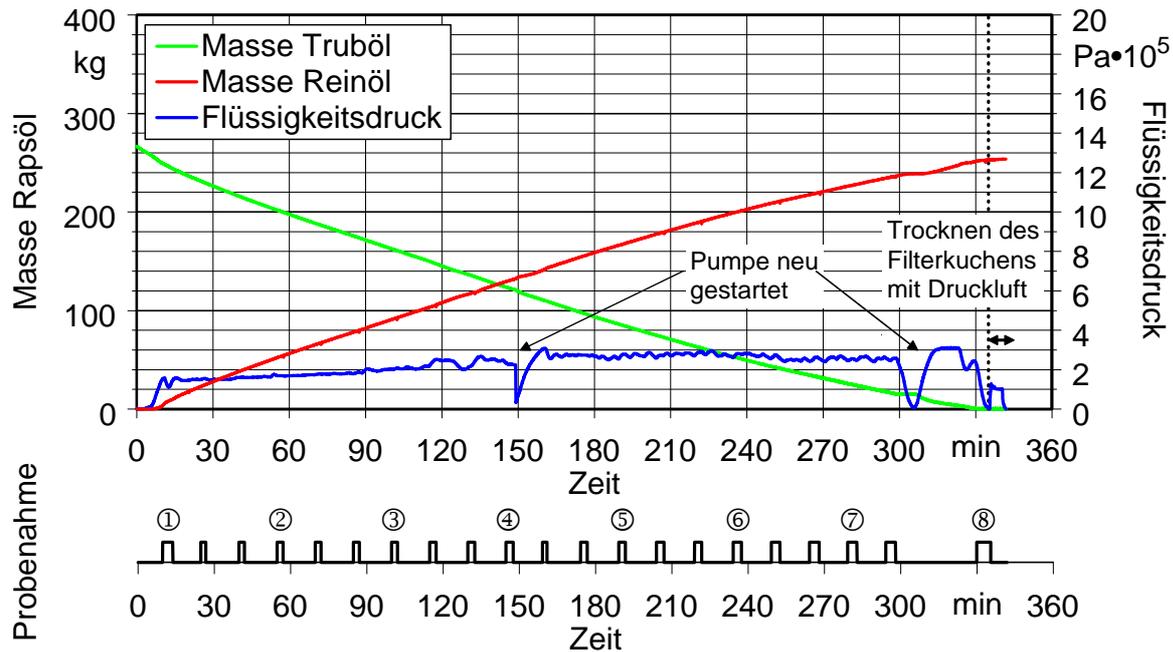
Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	170	kg
Masse Reinöl gesamt	160	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,04	kg/min
Druck am Filter max.	2,65	bar
Masse Filterkuchen	7,5	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	81,2	Masse-%

Anmerkungen:

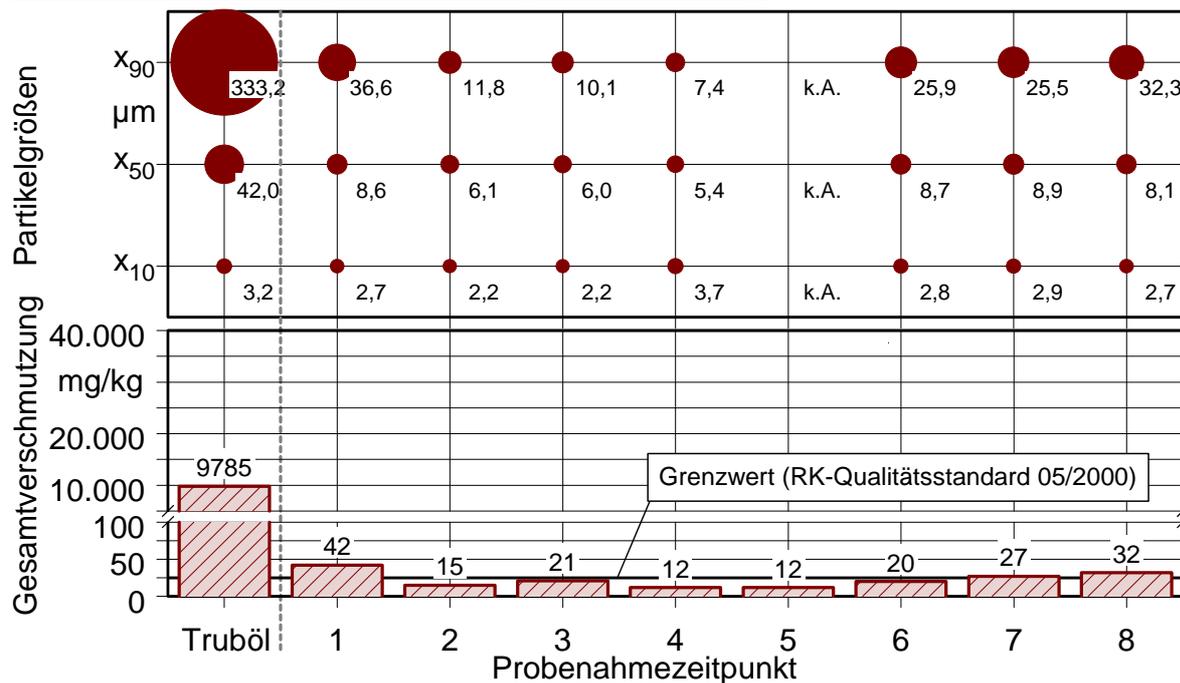
Probenahme 1 Teilstrom, 2-6 Hauptstrom, geringer Flüssigkeitsdruck, dünne Filterkuchenschicht

Kammerfilterpresse - Versuch 7

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

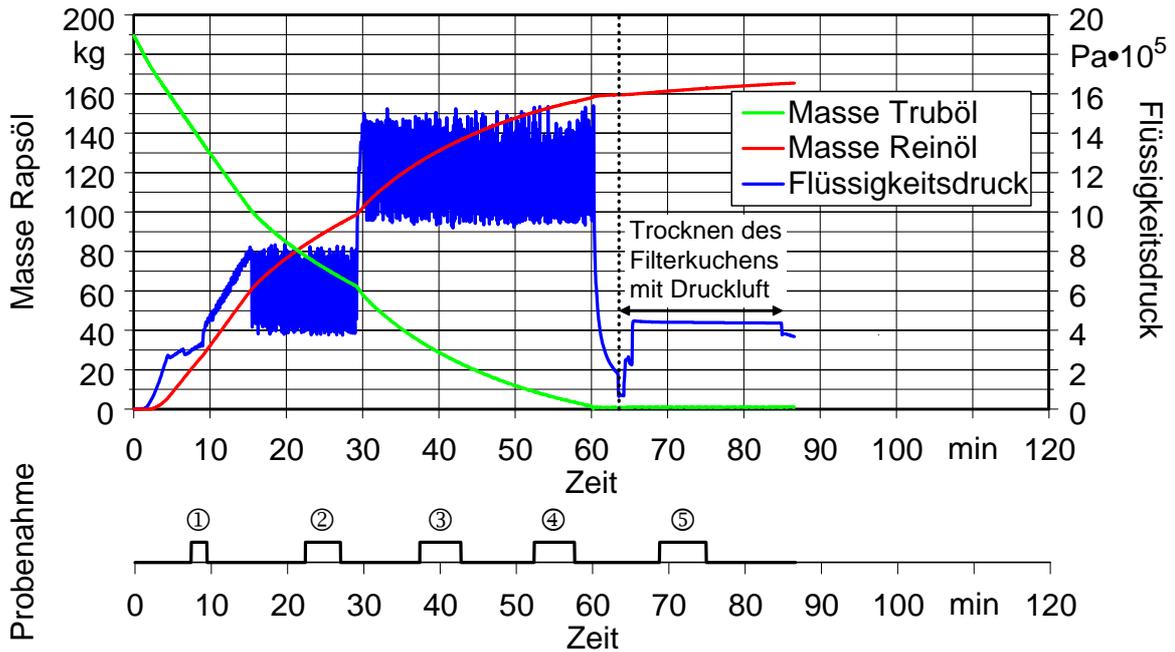
Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	267	kg
Masse Reinöl gesamt	252	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,76	kg/min
Druck am Filter max.	3,12	bar
Masse Filterkuchen	10,1	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	86,9	Masse-%

Anmerkungen:

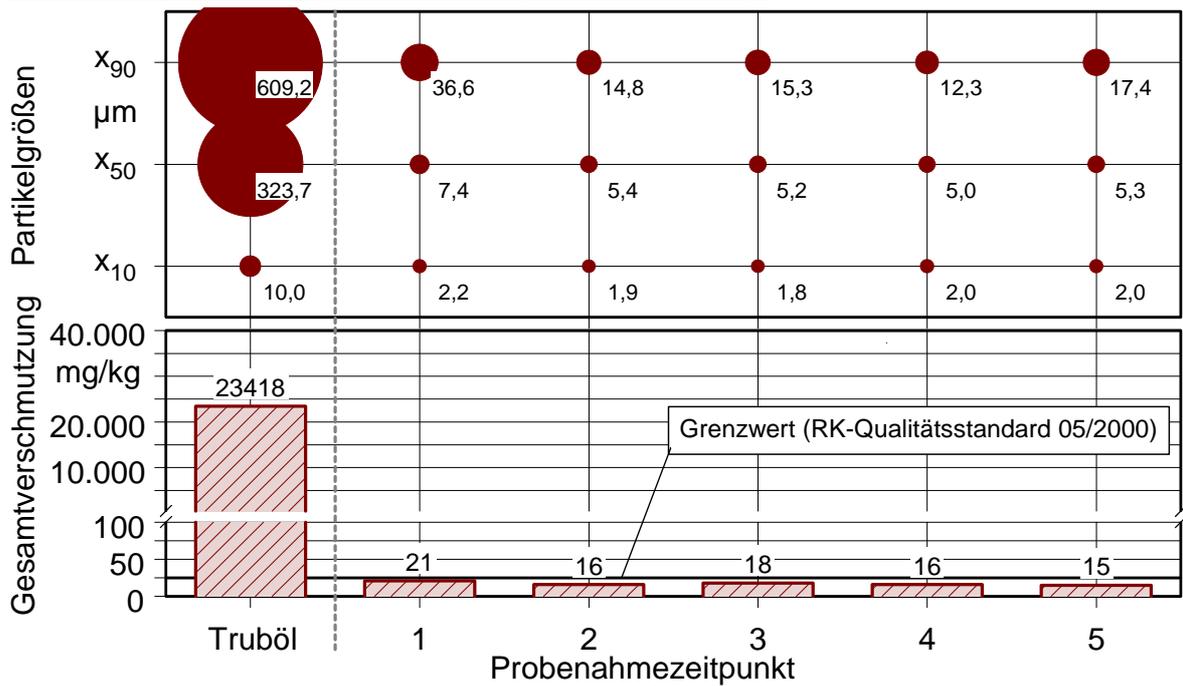
Probenahme 1 Teilstrom, 2-8 Hauptstrom, geringer Flüssigkeitsdruck

Kammerfilterpresse - Versuch 8

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



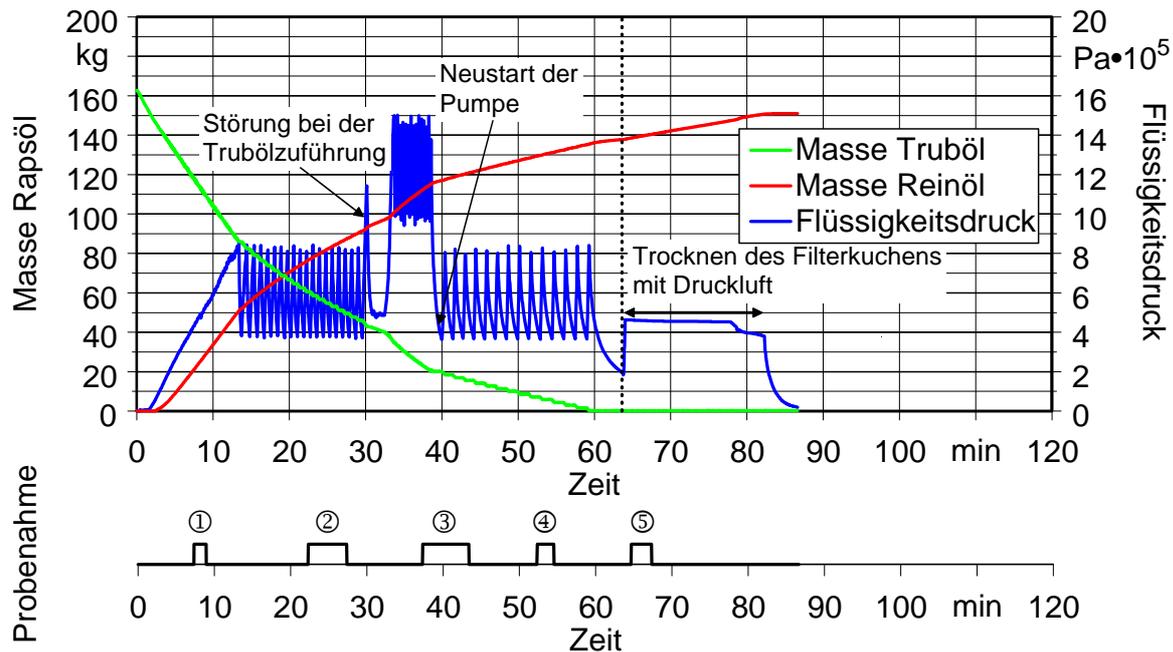
Versuchsparameter:

Filtermittel	E/23 Propex	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	190	kg
Masse Reinöl gesamt	165	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,6	kg/min
Druck am Filter max.	15,39	bar
Masse Filterkuchen	13,5	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	75,8	Masse-%

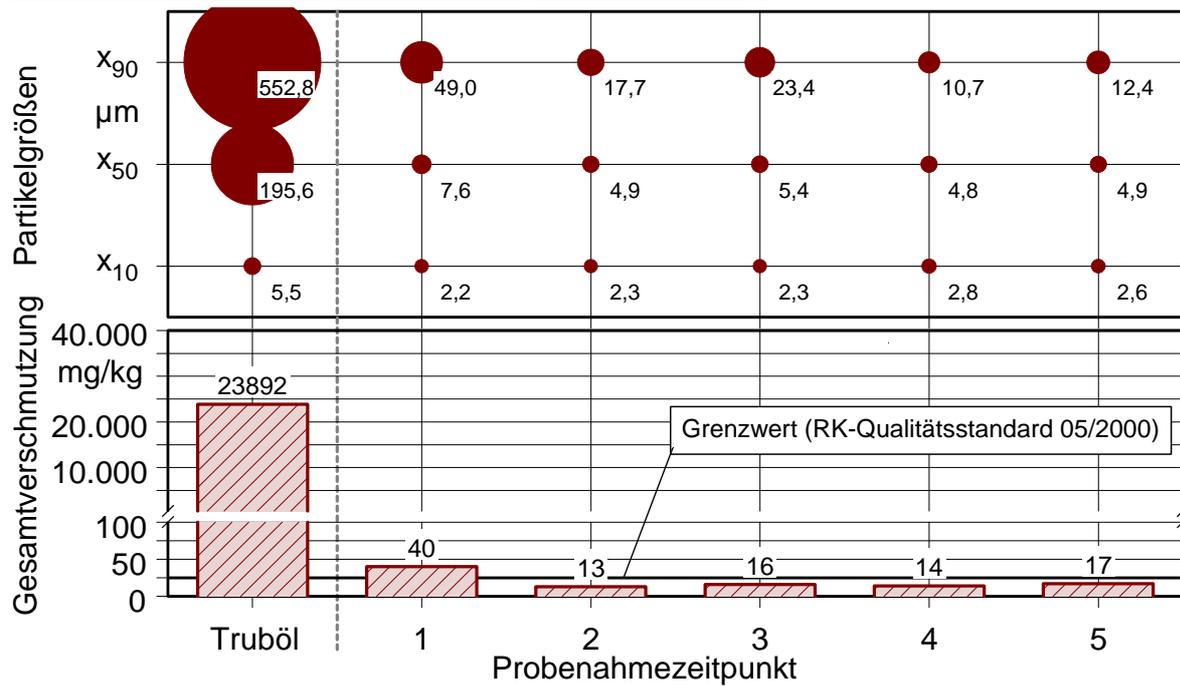
Anmerkungen: Probenahme 1-3 Teilstrom, 4 und 5 Hauptstrom, größere Mengen Öl tropfen von Filtertüchern ab, Druck in Kammerfilterpresse baute sich wegen Verstopfung nicht ab

Kammerfilterpresse - Versuch 9

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

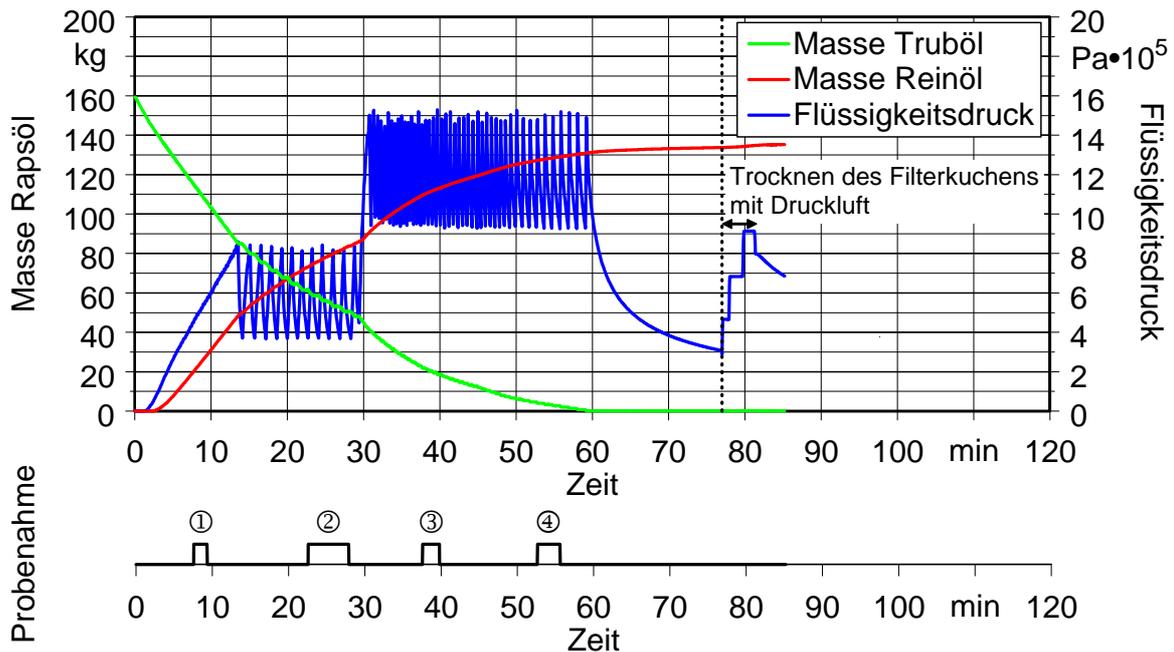
Filtermittel	E/23 Propex	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	163	kg
Masse Reinöl gesamt	151	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,3	kg/min
Druck am Filter max.	15,02	bar
Masse Filterkuchen	10,2	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	50,6	Masse-%

Anmerkungen:

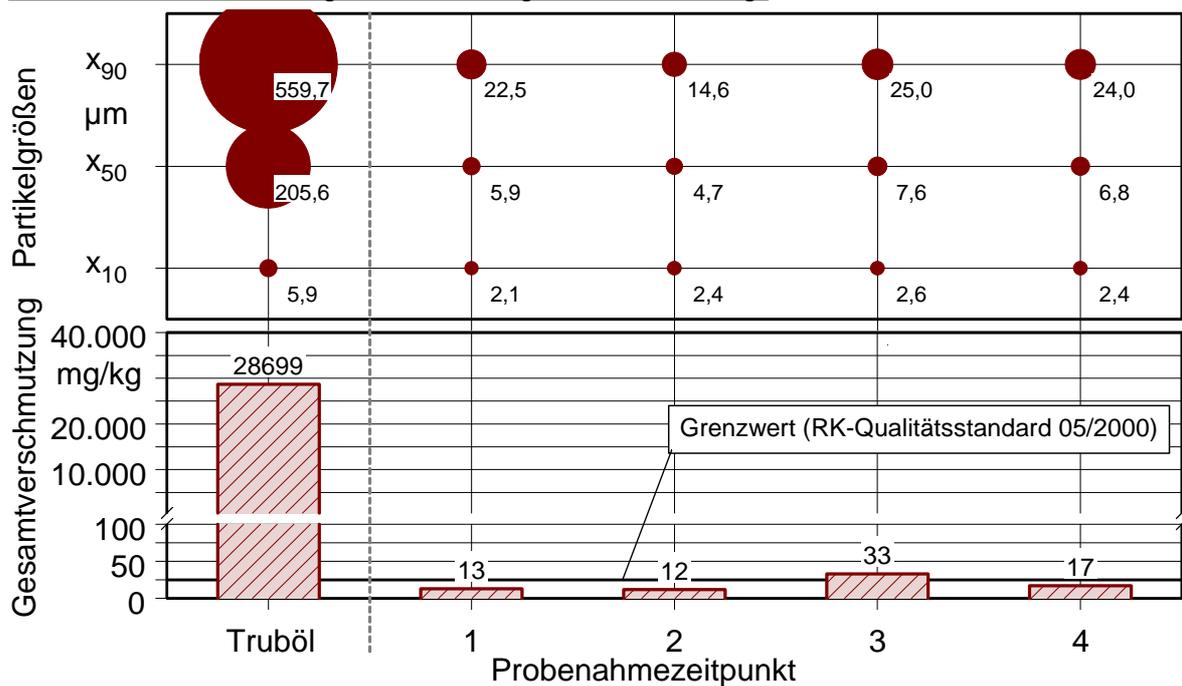
Probenahme 1 und 2 Teilstrom, 3-5 Hauptstrom, kompakter Filterkuchen

Kammerfilterpresse - Versuch 10

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

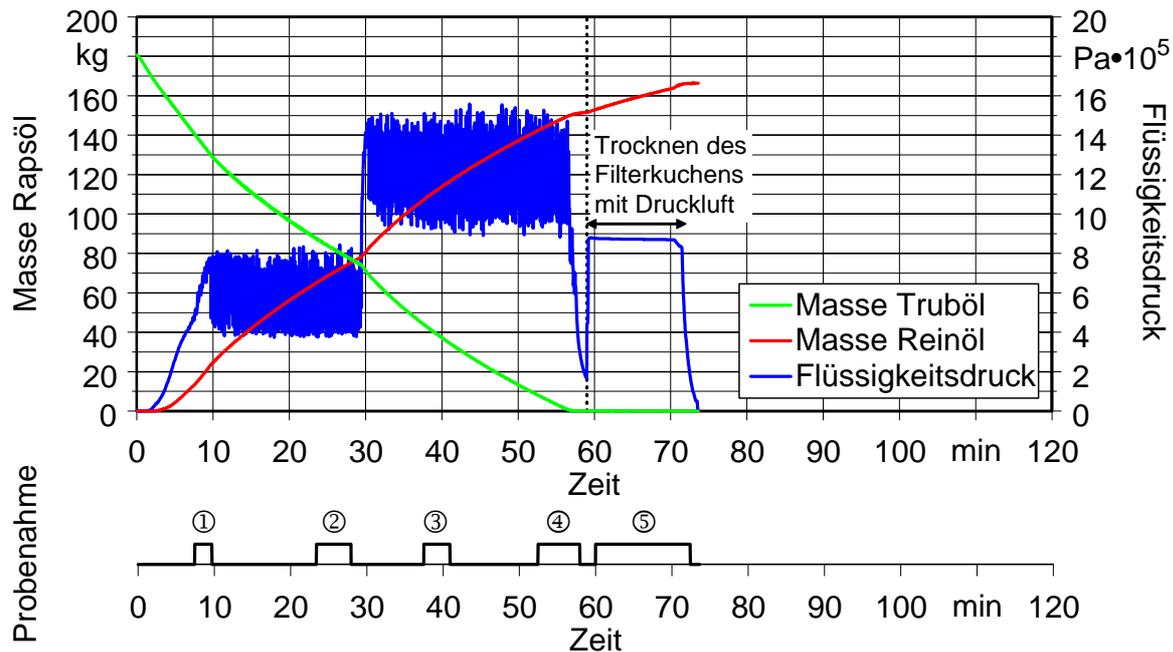
Filtermittel	E/23 Propex	
Filterhilfsmittel	—	
Masse Trüböl gesamt	160	kg
Masse Reinöl gesamt	135	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,2	kg/min
Druck am Filter max.	15,29	bar
Masse Filterkuchen	14,4	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	55,9	Masse-%

Anmerkungen:

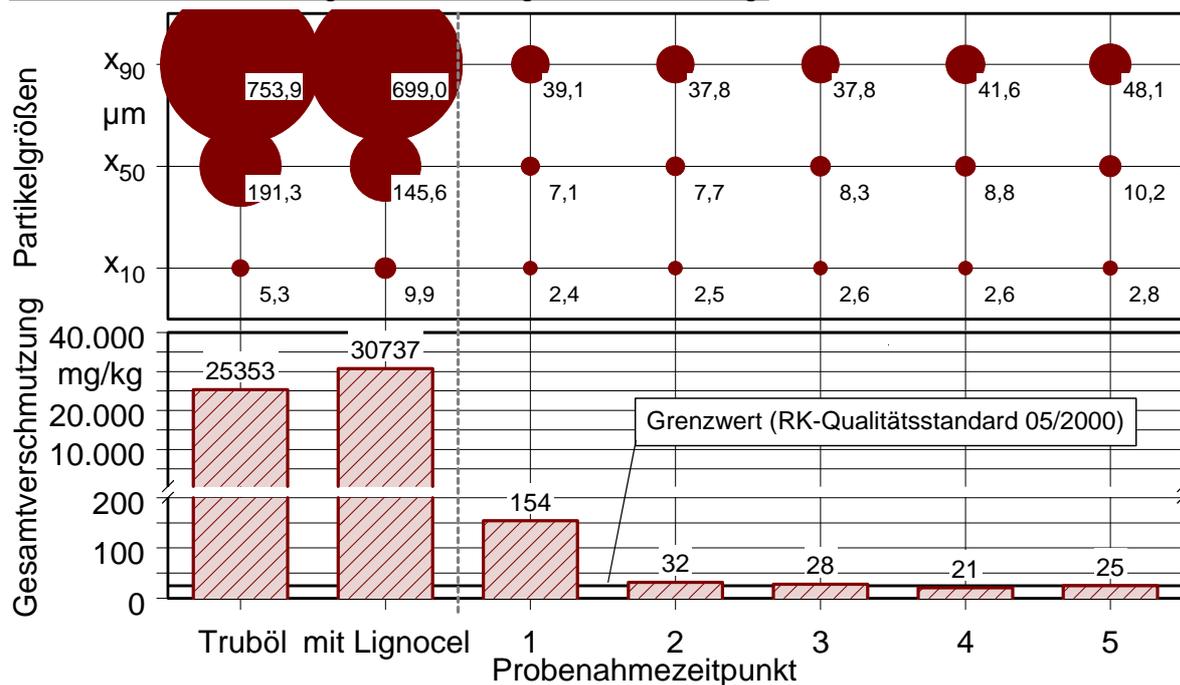
Probenahme 1 und 2 Teilstrom, 3-4 Hauptstrom, kompakter Filterkuchen

Kammerfilterpresse - Versuch 11

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



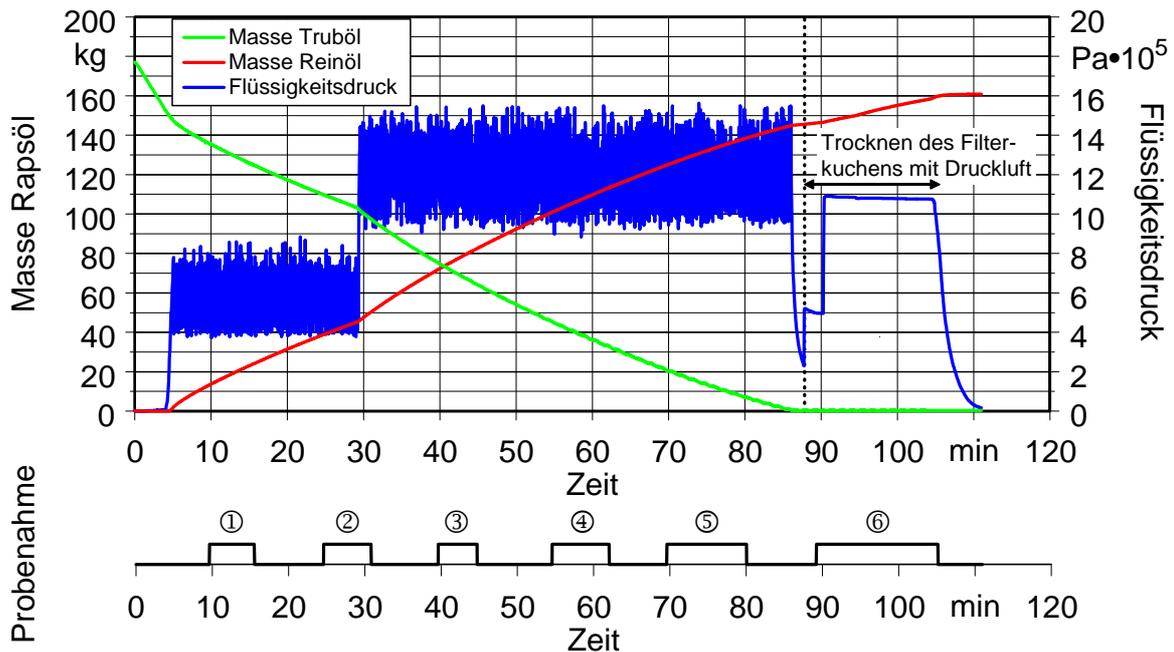
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
	Lignocel (1,1 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	181	kg
Masse Reinöl gesamt	167	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,6	kg/min
Druck am Filter max.	15,58	bar
Masse Filterkuchen	8,8	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	51,2	Masse-%

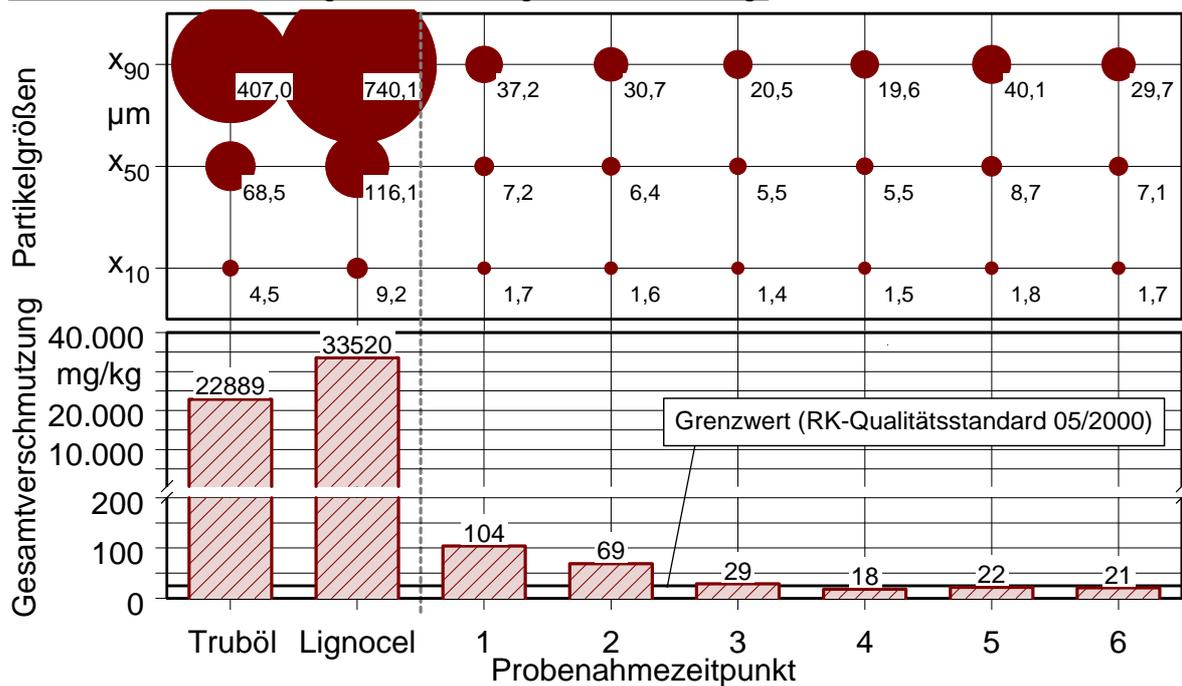
Anmerkungen: Probenahme 1-4 Teilstrom, 5 Hauptstrom, kompakter Filterkuchen, Filtertücher leicht zu reinigen, Filterkammern gleichmäßig befüllt, effektives Trocknen des Filterkuchens

Kammerfilterpresse - Versuch 12

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



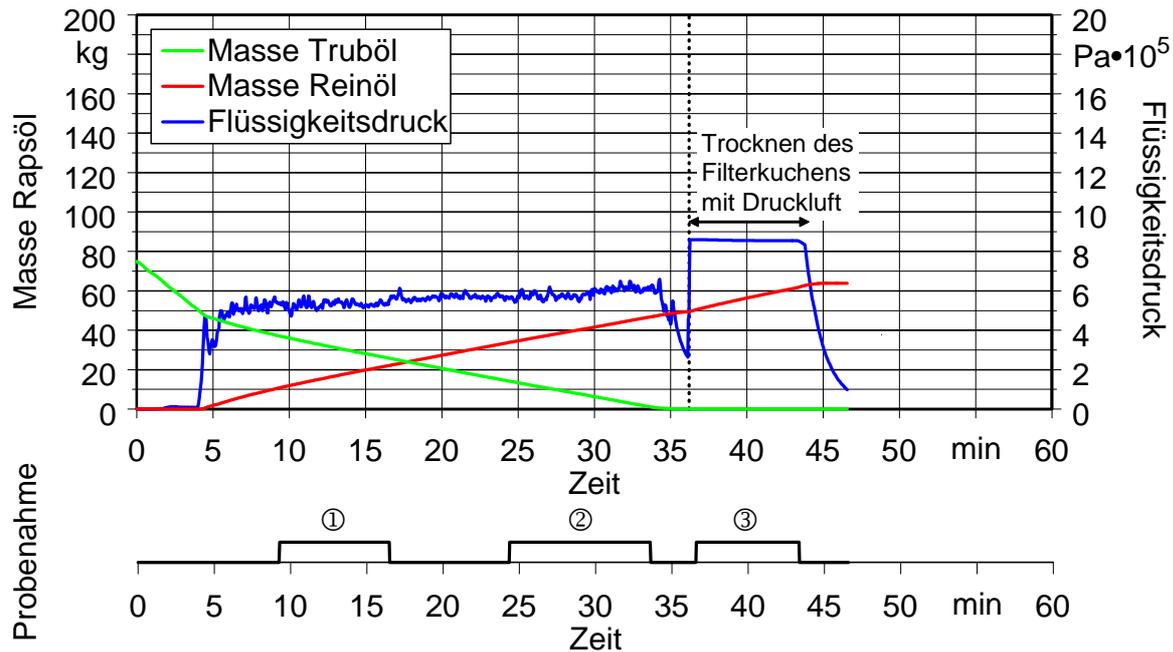
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
Filterhilfsmittel	Lignocel (1,2 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	177	kg
Masse Reinöl gesamt	161	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,7	kg/min
Druck am Filter max.	15,62	bar
Masse Filterkuchen	12,2	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	49,7	Masse-%

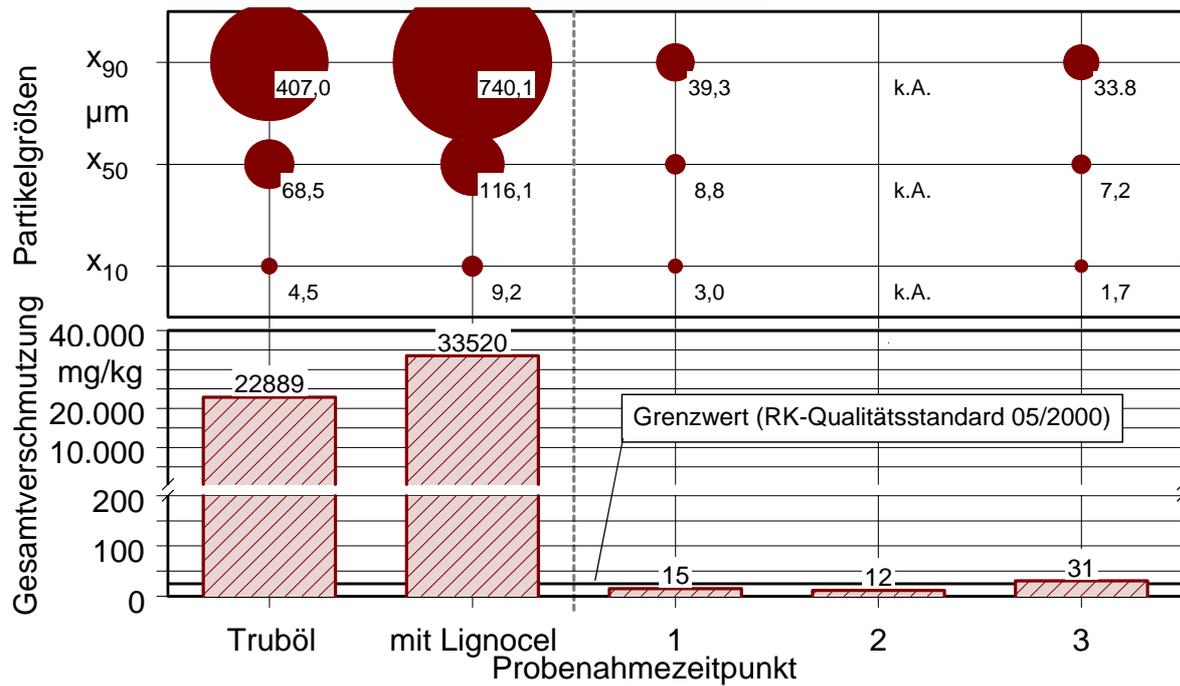
Anmerkungen: Probenahme 1-6 Teilstrom, kompakter Filterkuchen, Filtertücher leicht zu reinigen, Filterkammern gleichmäßig befüllt, effektives Trocknen des Filterkuchens mit Druckluft

Kammerfilterpresse - Versuch 13

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



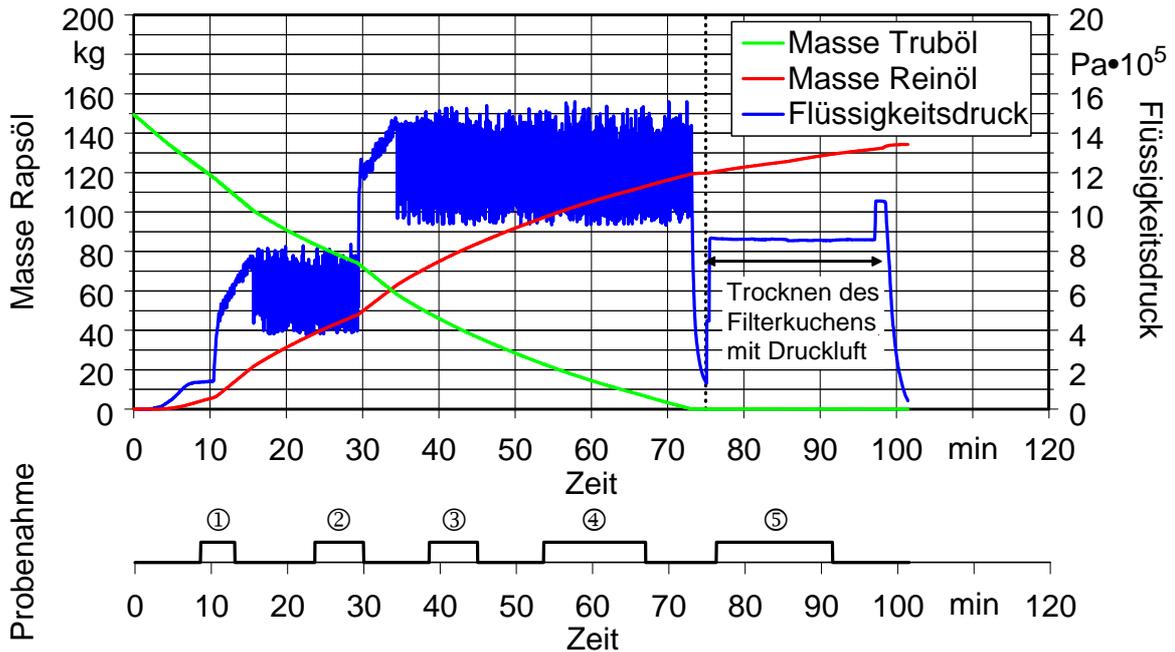
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
	Lignocel (1,2 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	75	kg
Masse Reinöl gesamt	64	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,4	kg/min
Druck am Filter max.	6,6	bar
Masse Filterkuchen	n.e.	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	77,0	Masse-%

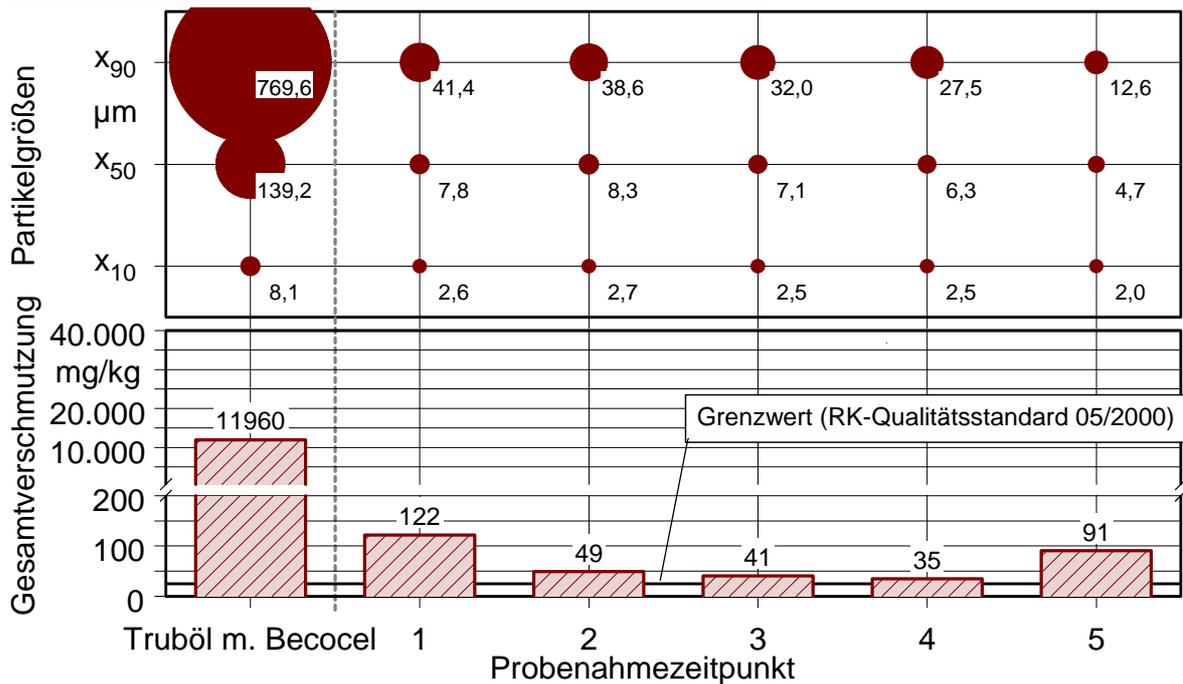
Anmerkungen: Probenahme 1-3 Teilstrom, Filtertücher leicht zu reinigen, Filterkammern gleichmäßig befüllt, effektives Trocknen des Filterkuchens mit Druckluft

Kammerfilterpresse - Versuch 14

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



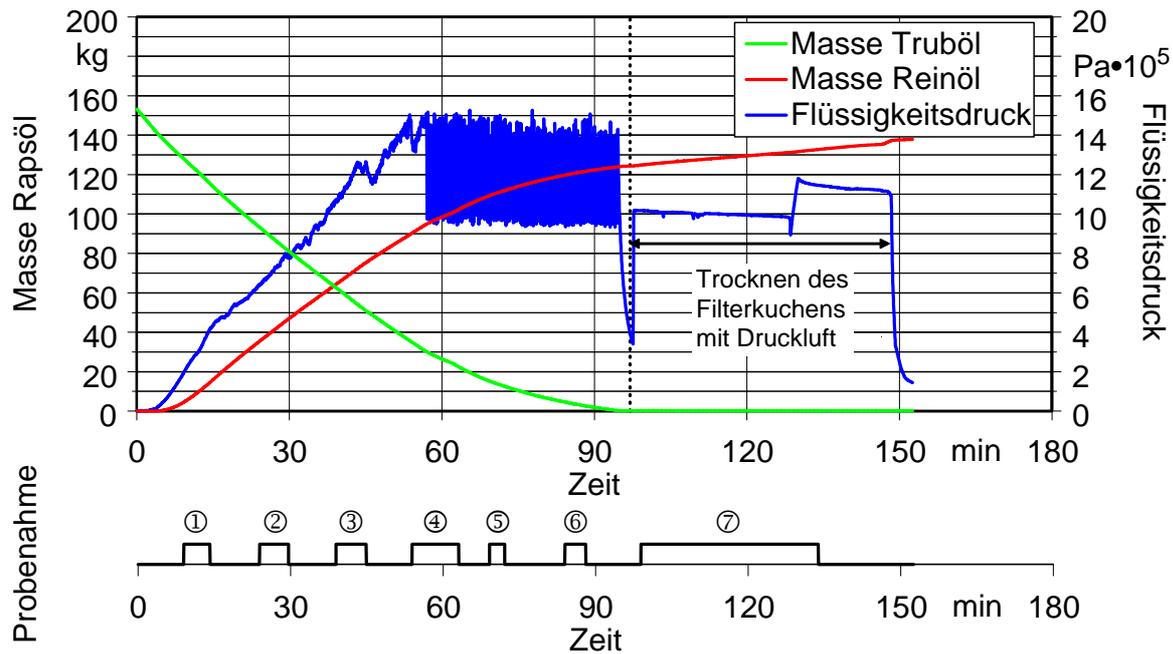
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
	Becocel (1,1 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	150	kg
Masse Reinöl gesamt	134	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,6	kg/min
Druck am Filter max.	15,60	bar
Masse Filterkuchen	12,0	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	60,0	Masse-%

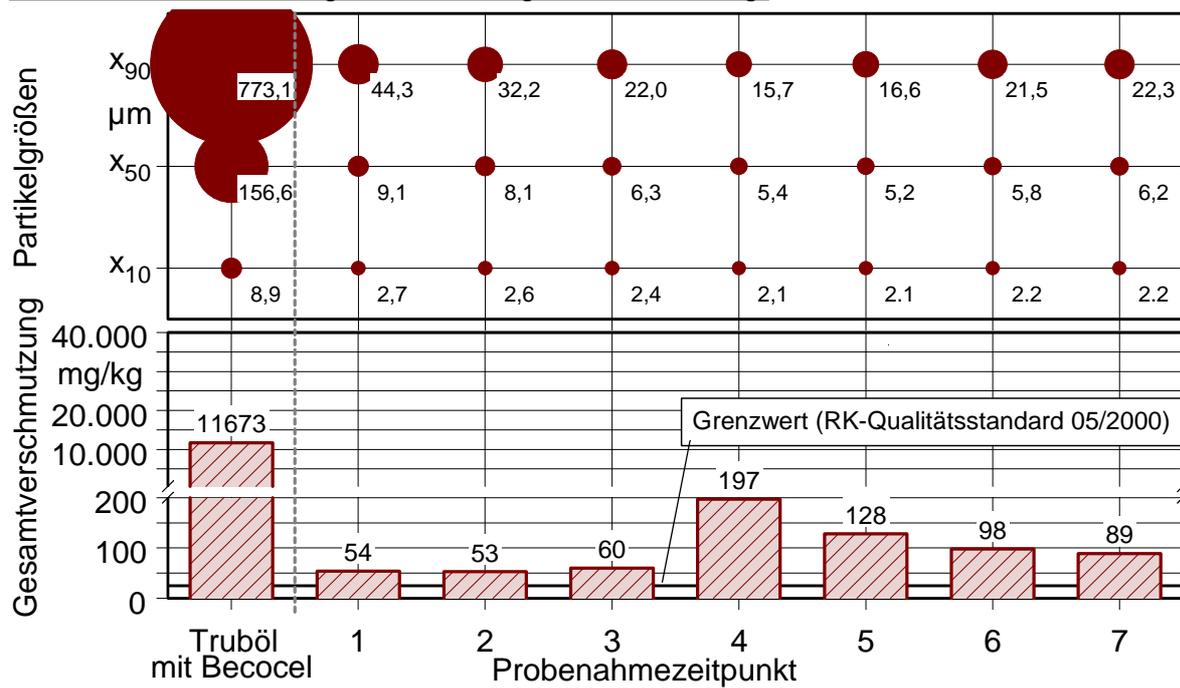
Anmerkungen: Probenahme 1-5 Teilstrom, kompakter trockener Filterkuchen, Filterkammern gleichmäßig gefüllt

Kammerfilterpresse - Versuch 15

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



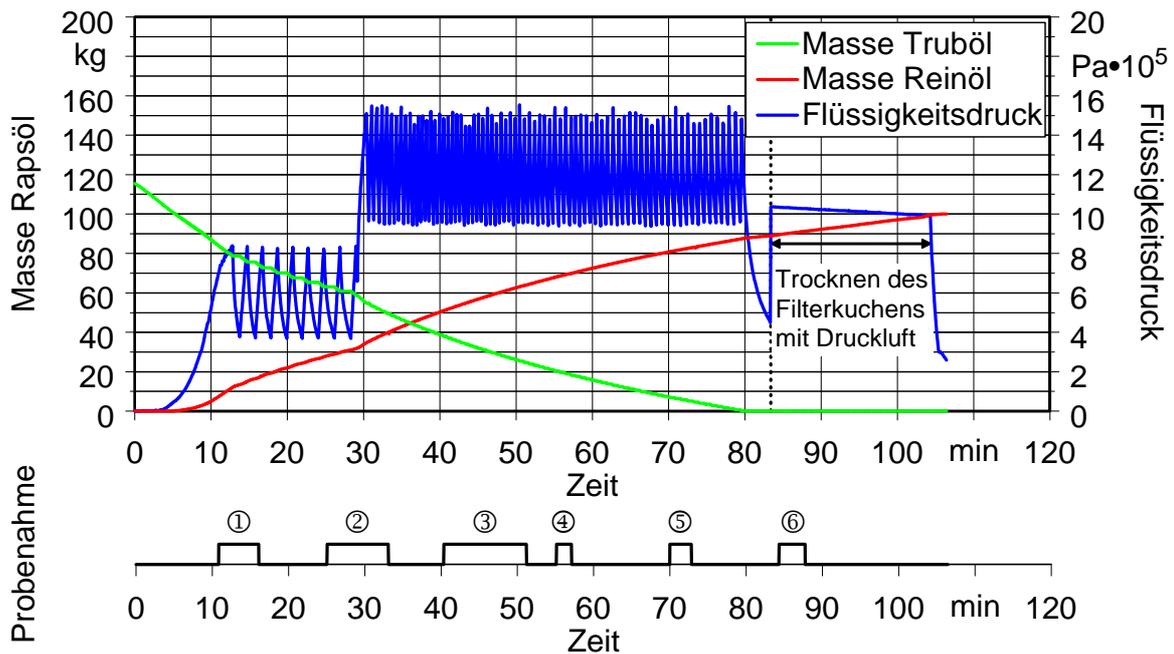
Versuchsparameter:

Filtermittel	NKD 2319	
	Becocel (1,1 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	153	kg
Masse Reinöl gesamt	138	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,3	kg/min
Druck am Filter max.	15,27	bar
Masse Filterkuchen	n.e.	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	63,0	Masse-%

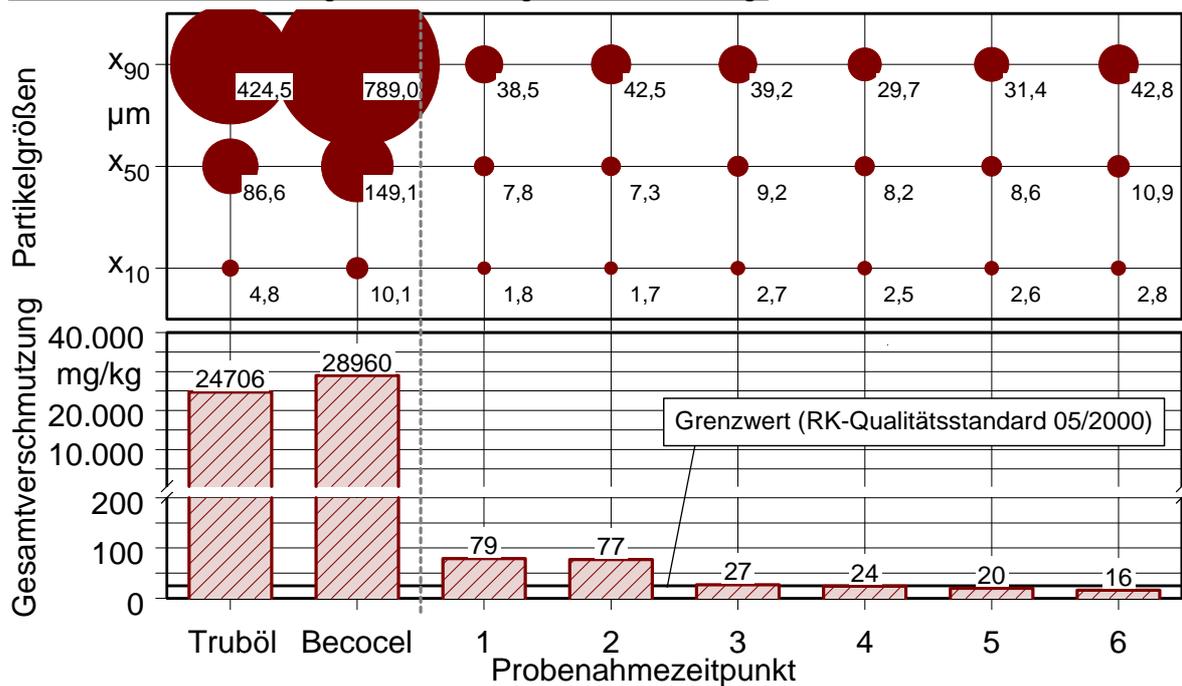
Anmerkungen: Probenahme 1-4 Teilstrom, 5-7 Hauptstrom, kompakter trockener Filterkuchen, Filterkammern gleichmäßig gefüllt

Kammerfilterpresse - Versuch 16

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



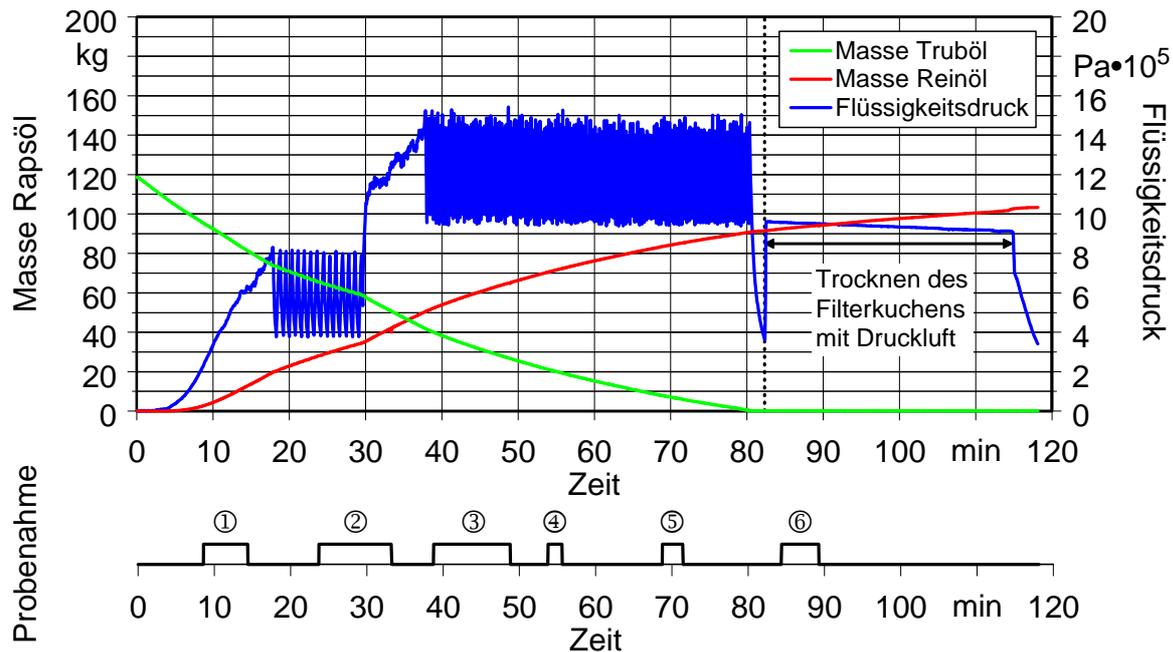
Versuchsparameter:

Filtermittel	E/23 Propex	
Filterhilfsmittel	Becocel (1,1 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	116	kg
Masse Reinöl gesamt	100	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,1	kg/min
Druck am Filter max.	15,54	bar
Masse Filterkuchen	11,9	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	66,4	Masse-%

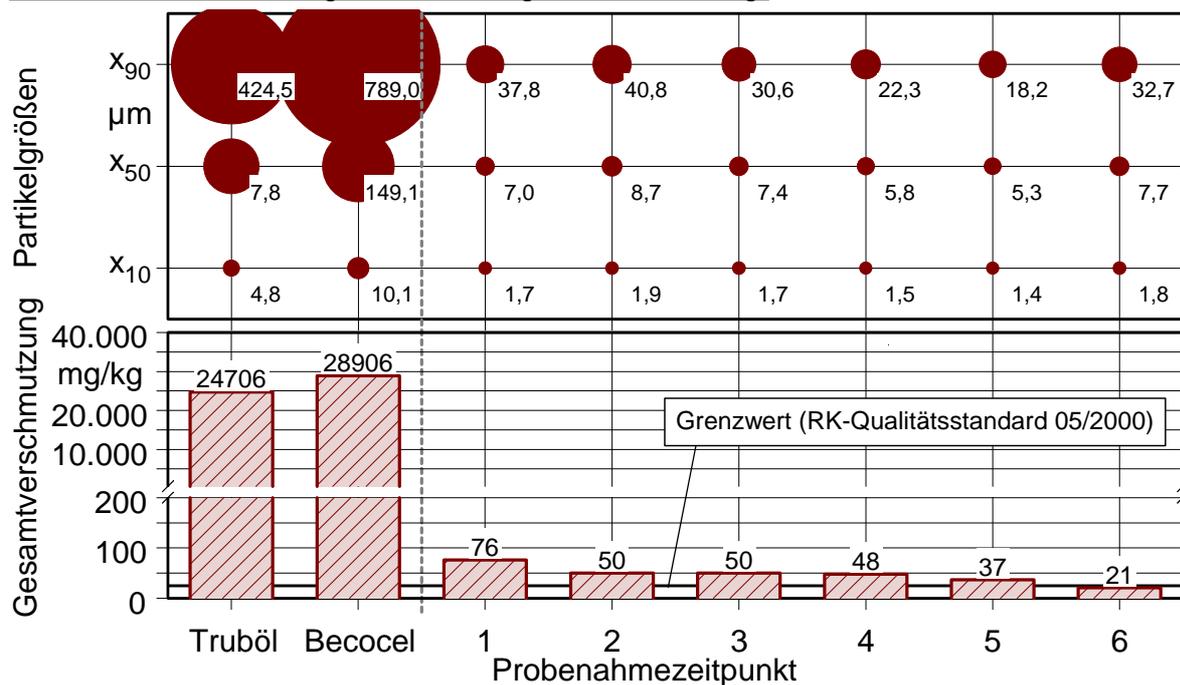
Anmerkungen: Probenahme 1-3 Teilstrom, 4-6 Hauptstrom, hoher Anteil feiner Partikel im Filterkuchen feststellbar

Kammerfilterpresse - Versuch 17

Filtrationsverlauf:



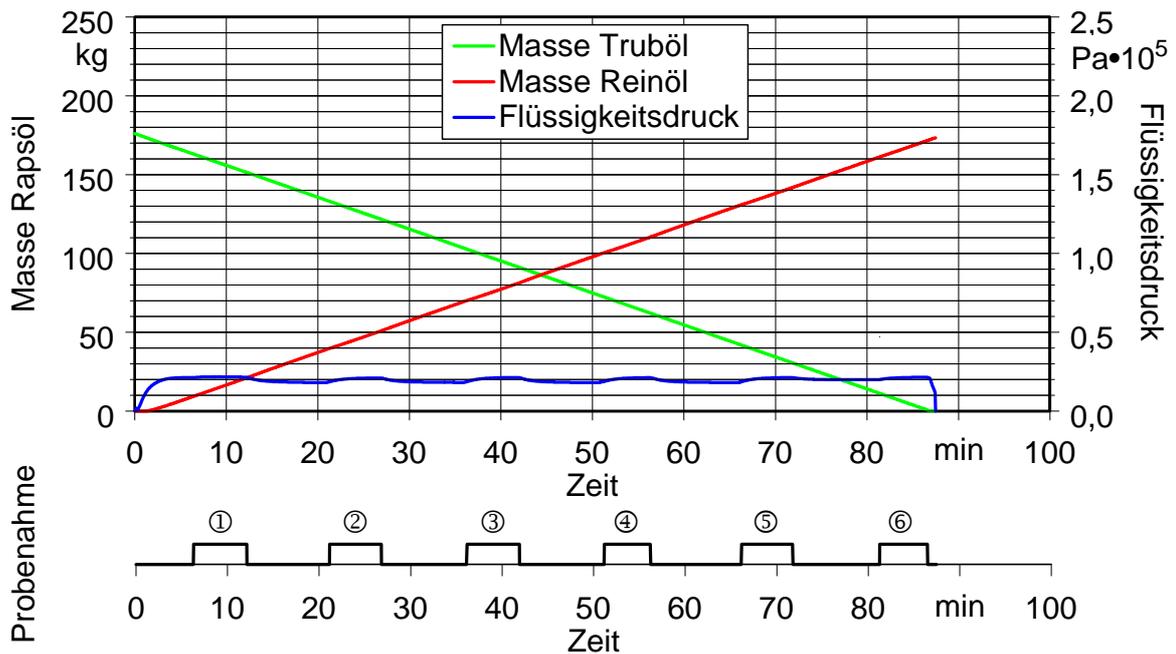
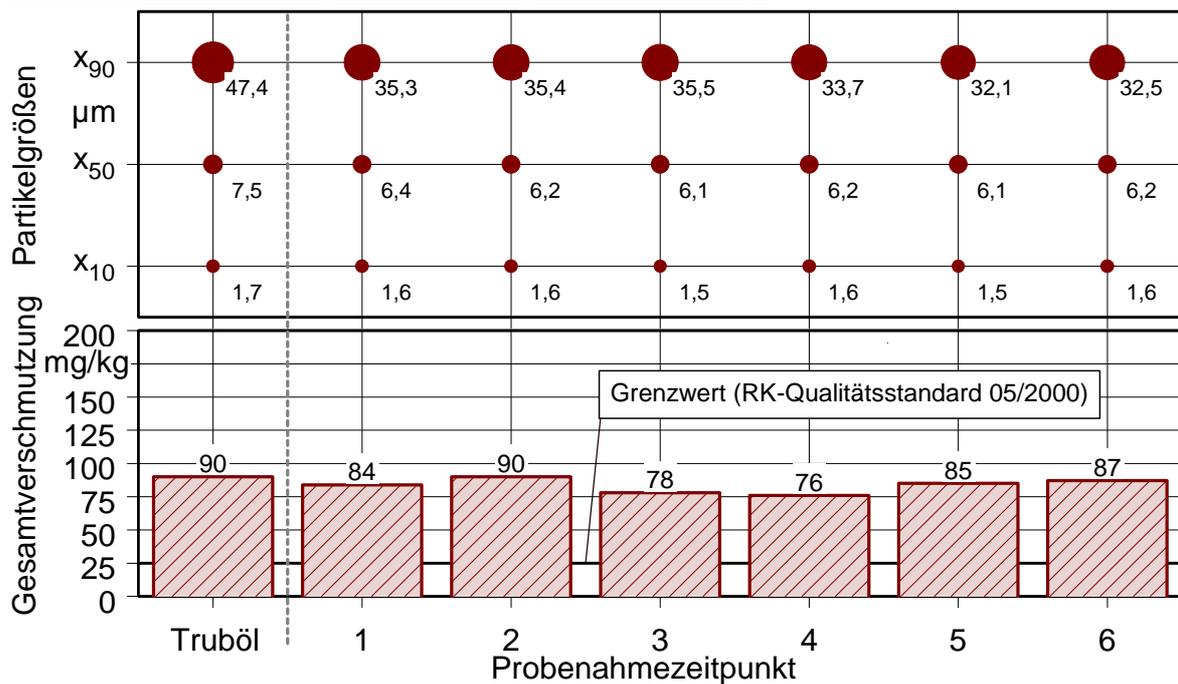
Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

Filtermittel	E/23 Propex	
	Becocel (1,1 Masse-%)	
Masse Trüböl gesamt	119	kg
Masse Reinöl gesamt	103	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,1	kg/min
Druck am Filter max.	15,43	bar
Masse Filterkuchen	12,3	kg
Ölgehalt im Filterkuchen	67,5	Masse-%

Anmerkungen: Probenahme 1-3 Teilstrom, 4-6 Hauptstrom, hoher Anteil feiner Partikel im Filterkuchen feststellbar, langsamer Druckabbau durch verstopfte Filtertücher

Beutelfilter - Versuch 18Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

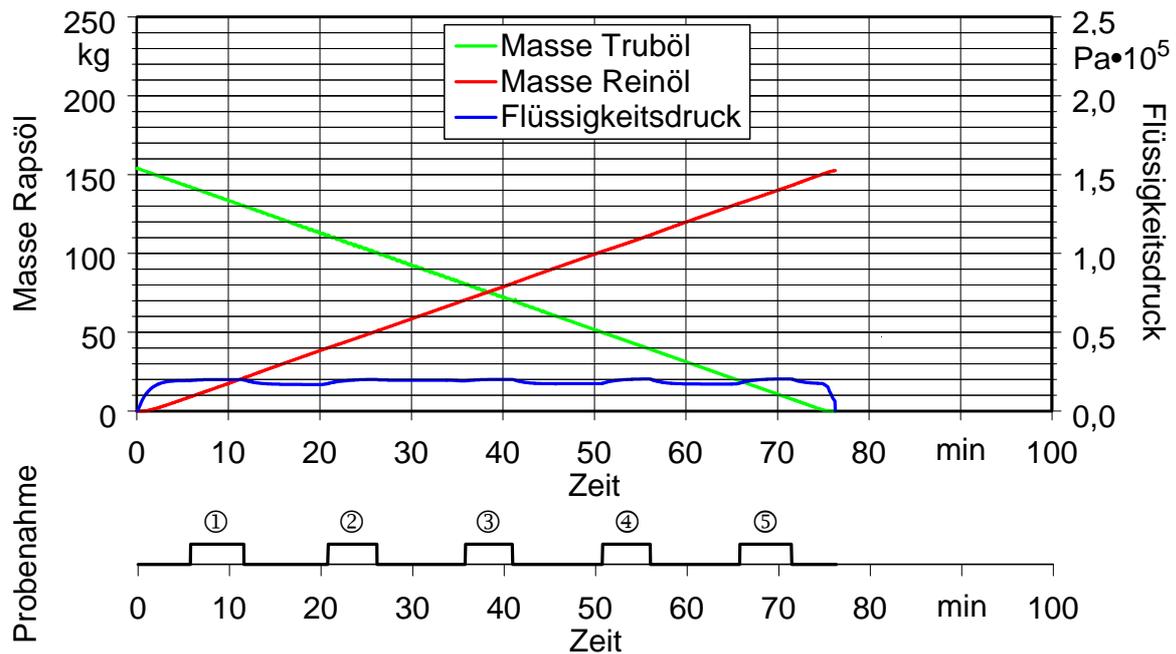
Filterbeutel	AP 1 P 1-S	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	176	kg
Masse Reinöl gesamt	173	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	0,22	bar

Anmerkungen:

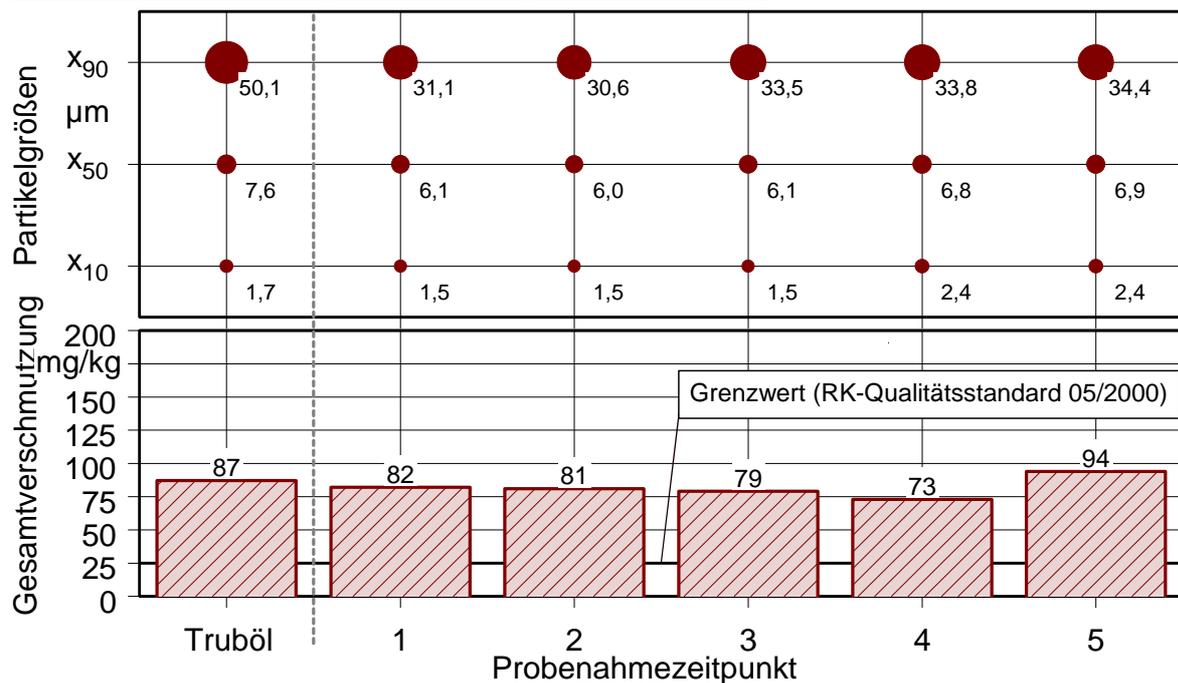
Probenahme 1-6 Teilstrom

Beutelfilter - Versuch 19

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

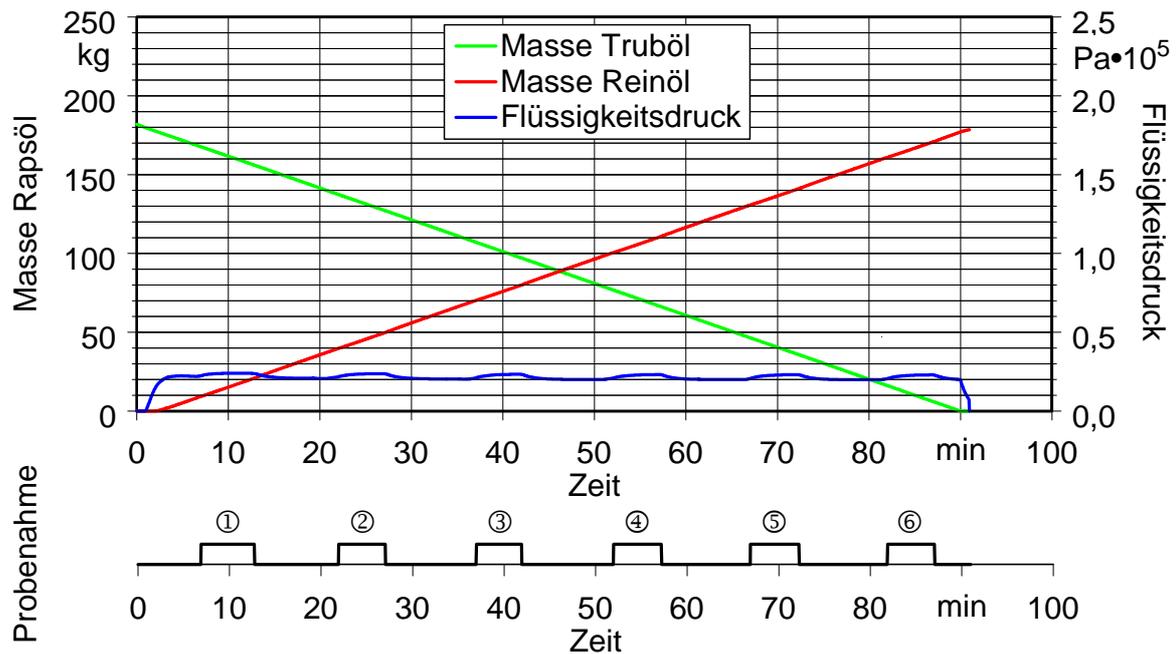
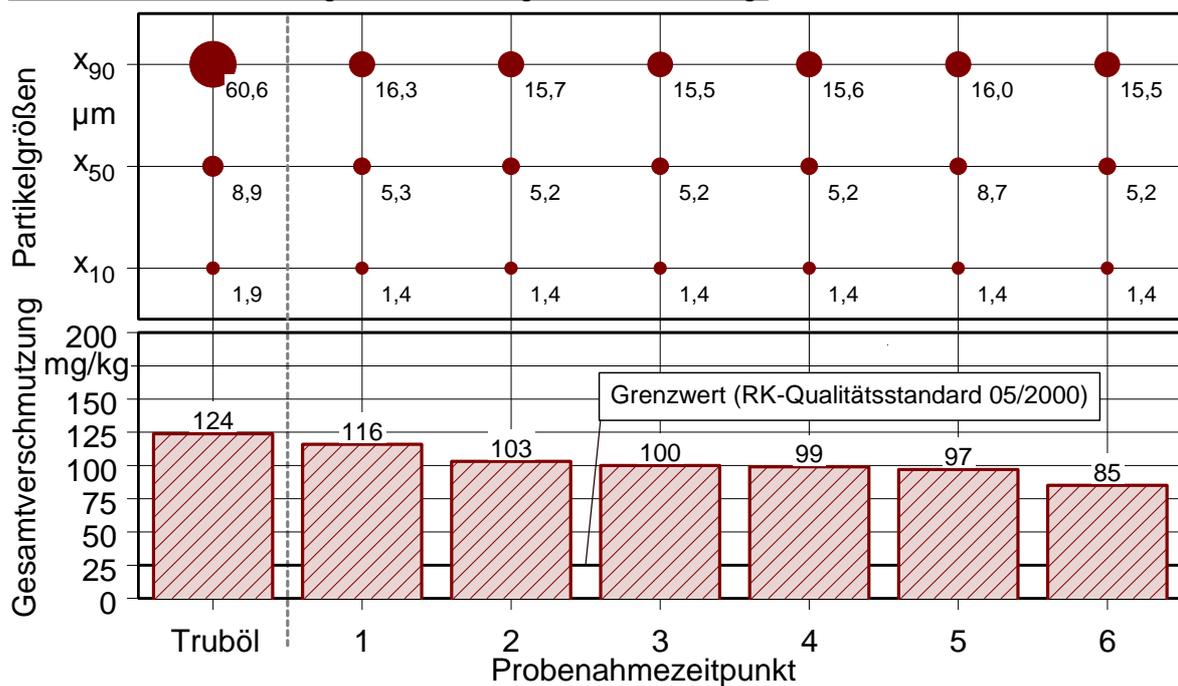


Versuchsparameter:

Filterbeutel	AP 1 P 1-S	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	154	kg
Masse Reinöl gesamt	152	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	0,20	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-5 Teilstrom

Beutelfilter - Versuch 20Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

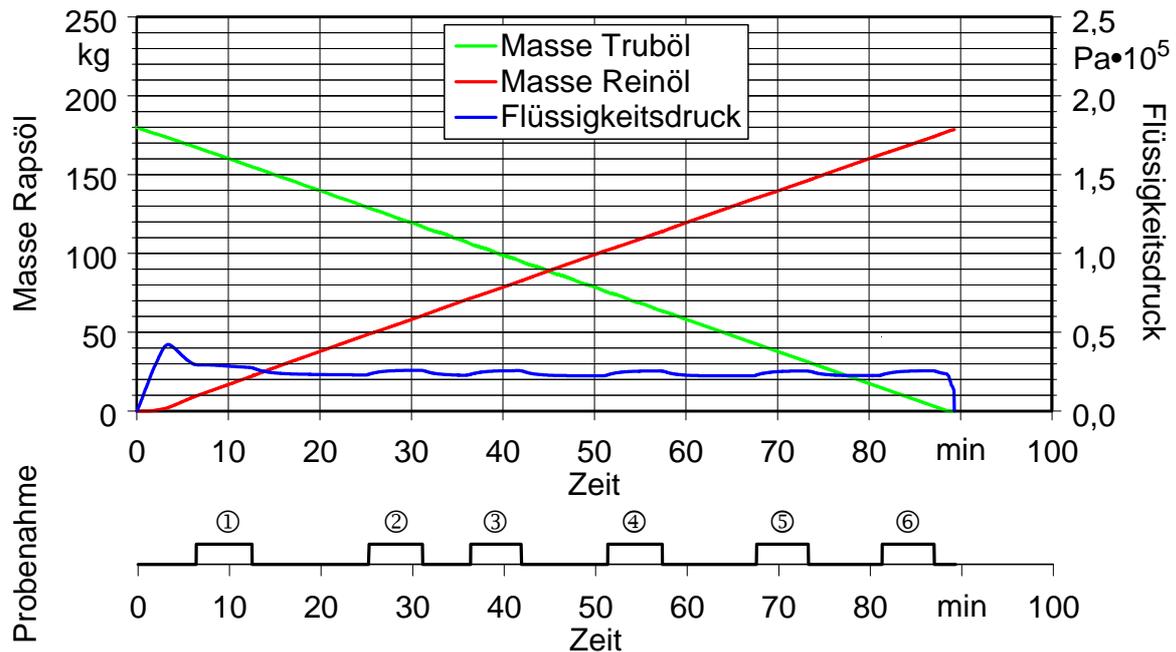
Filterbeutel	AP 5/3/1 P 1-SS	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	182	kg
Masse Reinöl gesamt	179	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	0,24	bar

Anmerkungen:

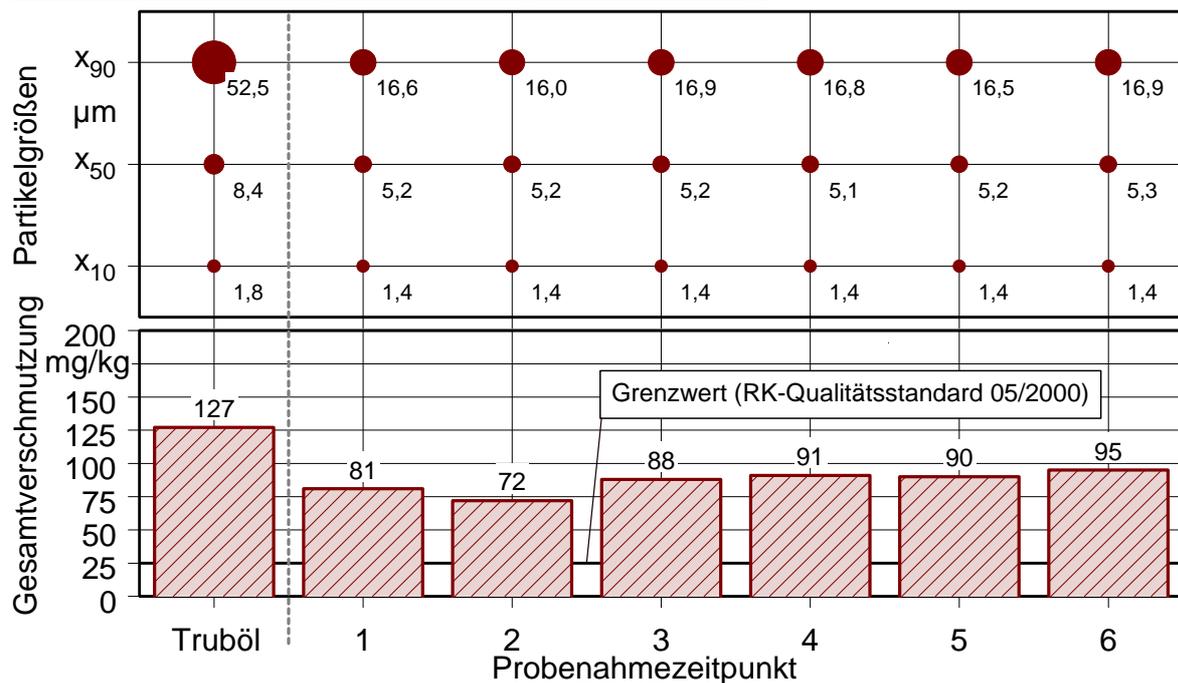
Probenahme 1-6 Teilstrom

Beutelfilter - Versuch 21

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

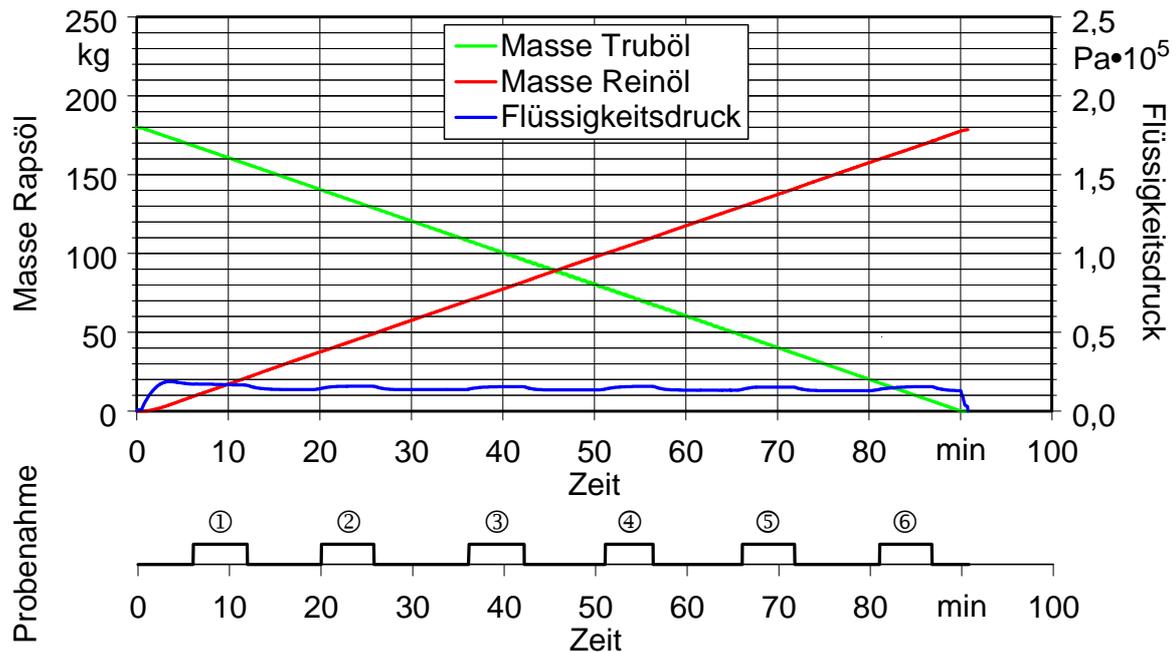
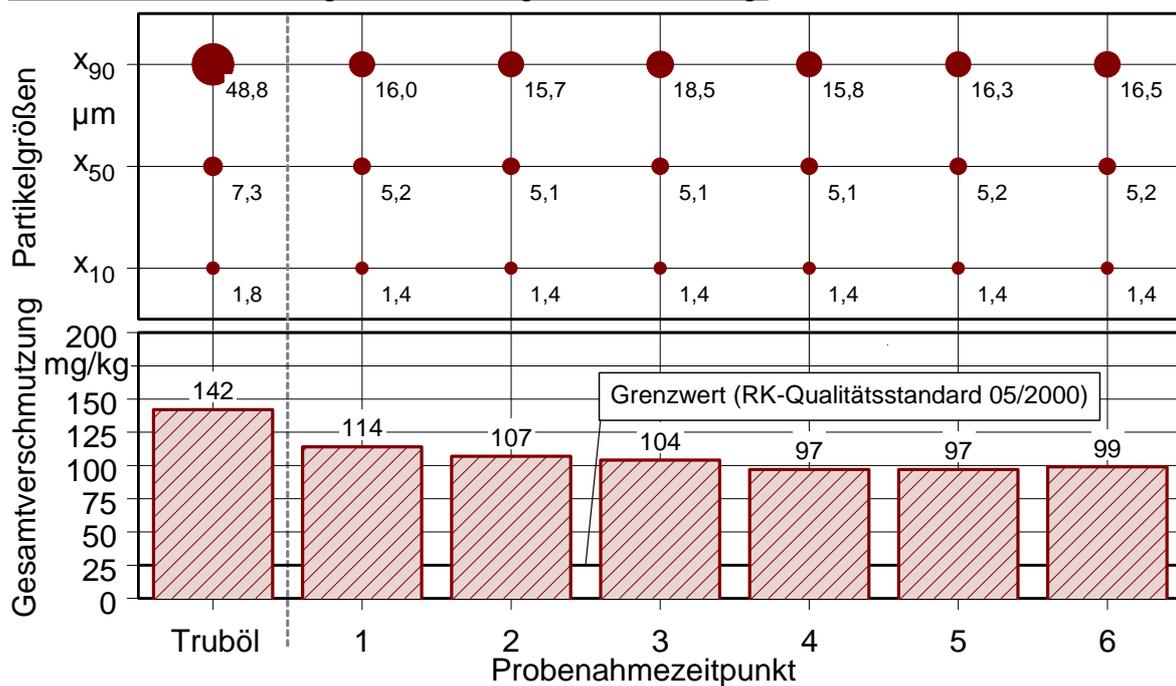


Versuchsparameter:

Filterbeutel	AP 5/3/1 P 1-SS	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	180	kg
Masse Reinöl gesamt	178	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	0,42	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-6 Teilstrom

Beutelfilter - Versuch 22Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

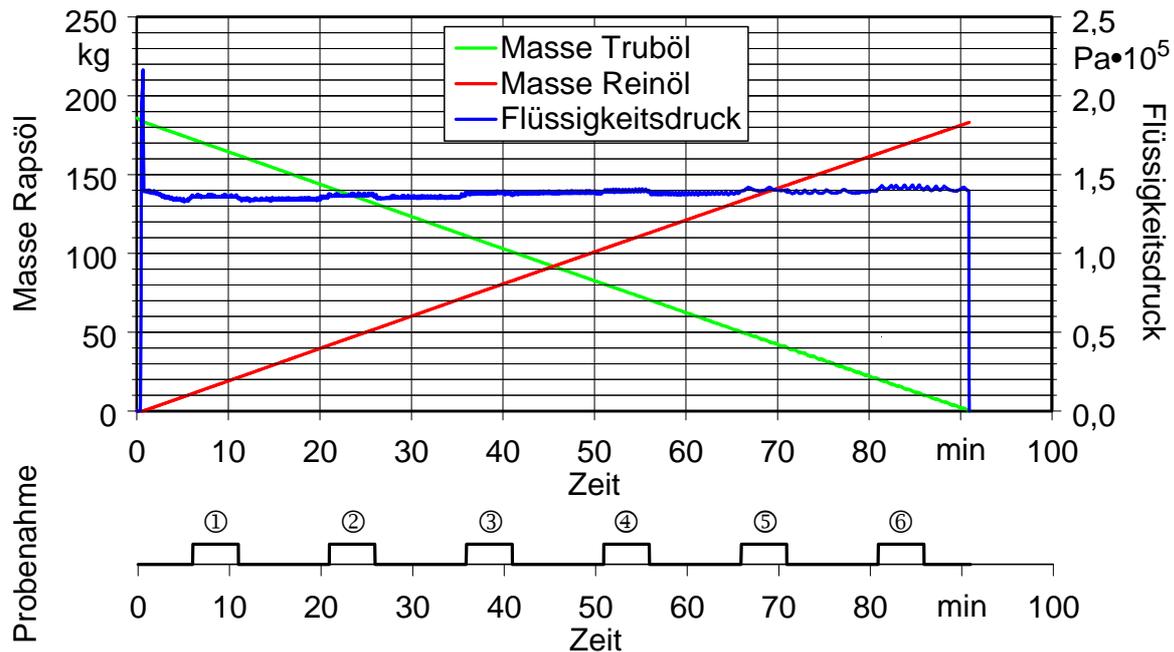
Filterbeutel	AP 5/3/1 P 1-SS	
Charge	3	
Masse Trüböl gesamt	180	kg
Masse Reinöl gesamt	178	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	0,19	bar

Anmerkungen:

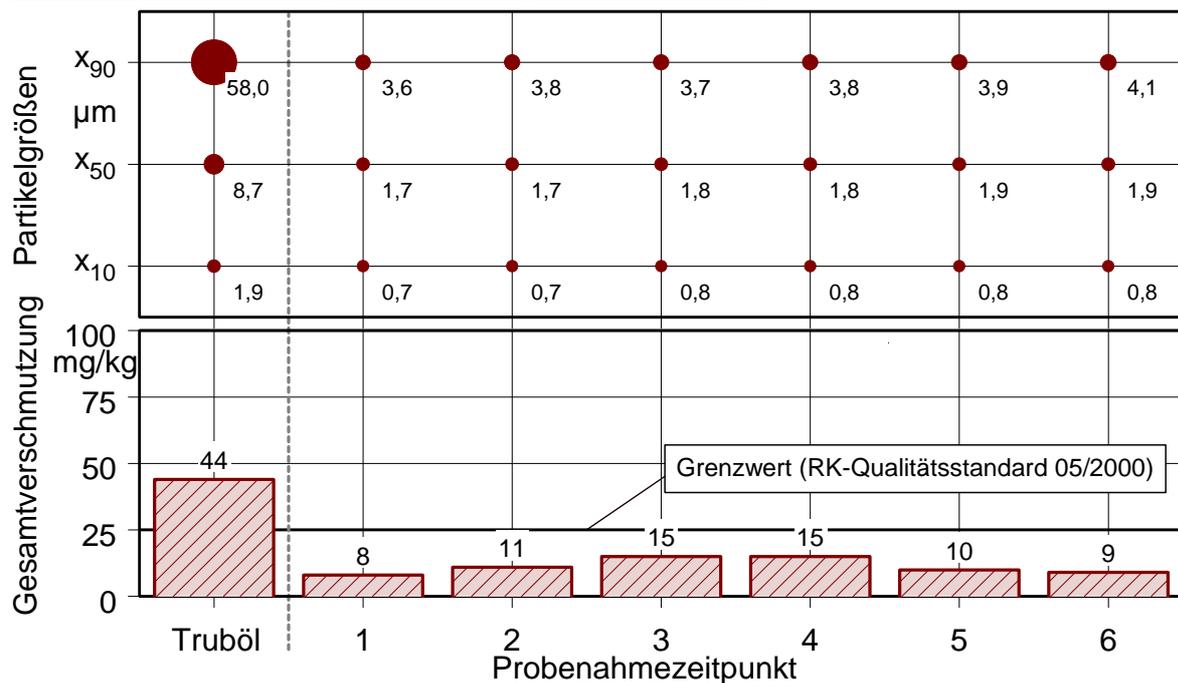
Probenahme 1-6 Teilstrom

Kerzenfilter - Versuch 23

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

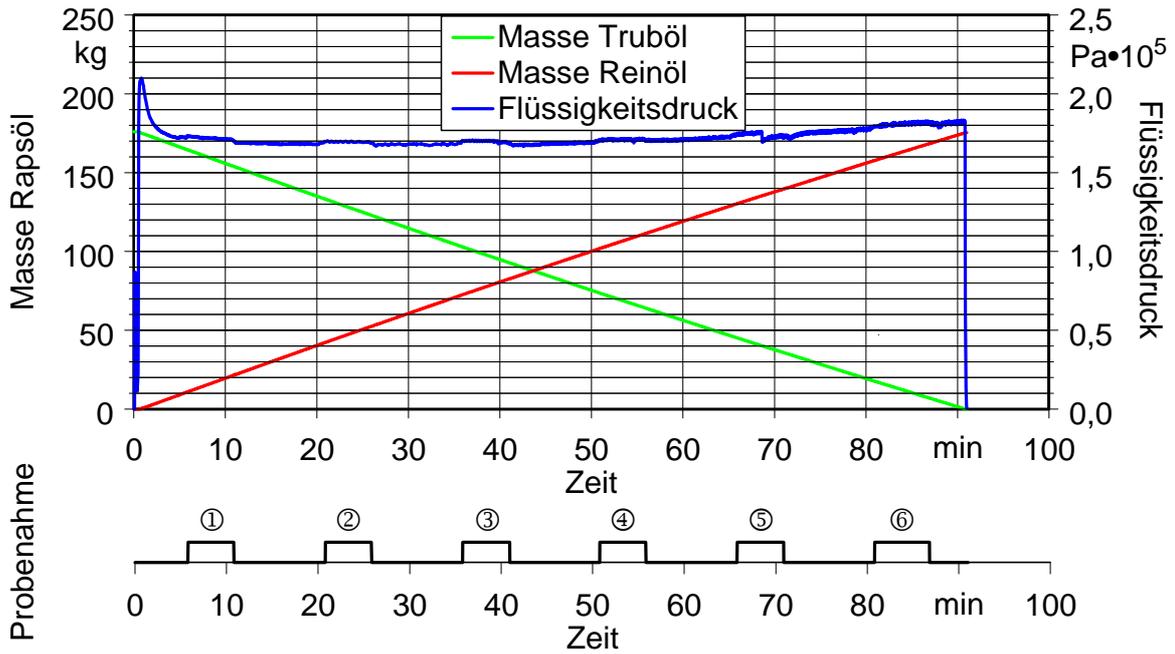
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	186	kg
Masse Reinöl gesamt	183	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,0	kg/min
Druck am Filter max.	2,16	bar

Anmerkungen:

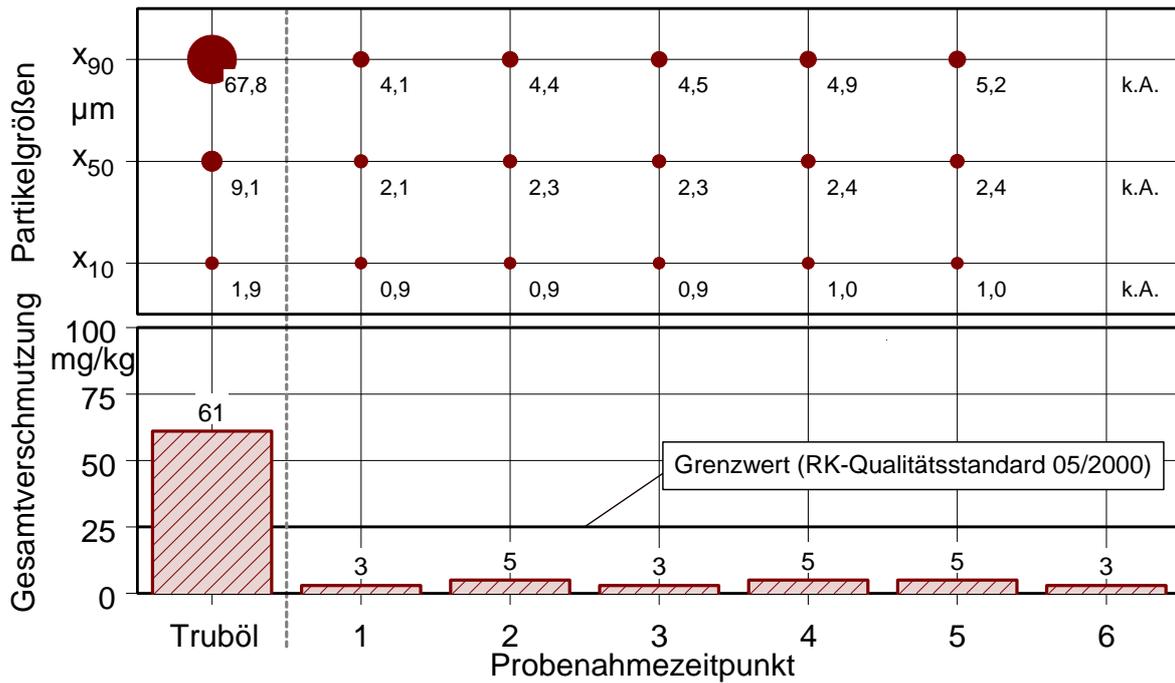
Probenahme 1-6 Teilstrom

Kerzenfilter - Versuch 24

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

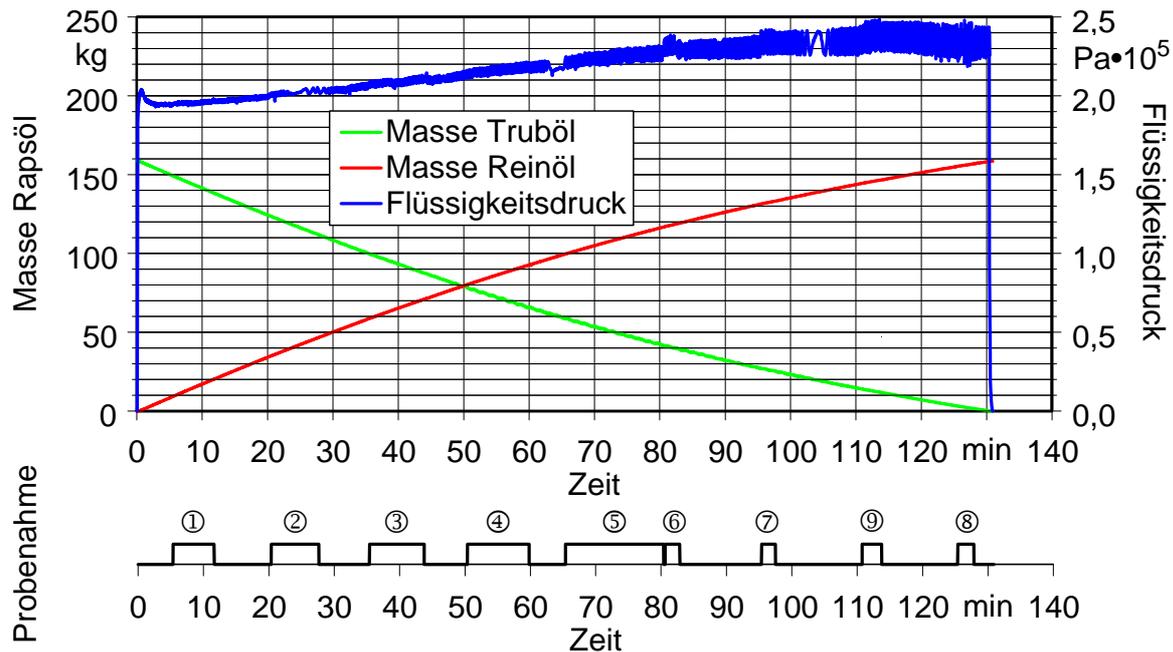
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	176	kg
Masse Reinöl gesamt	175	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,9	kg/min
Druck am Filter max.	2,1	bar

Anmerkungen:

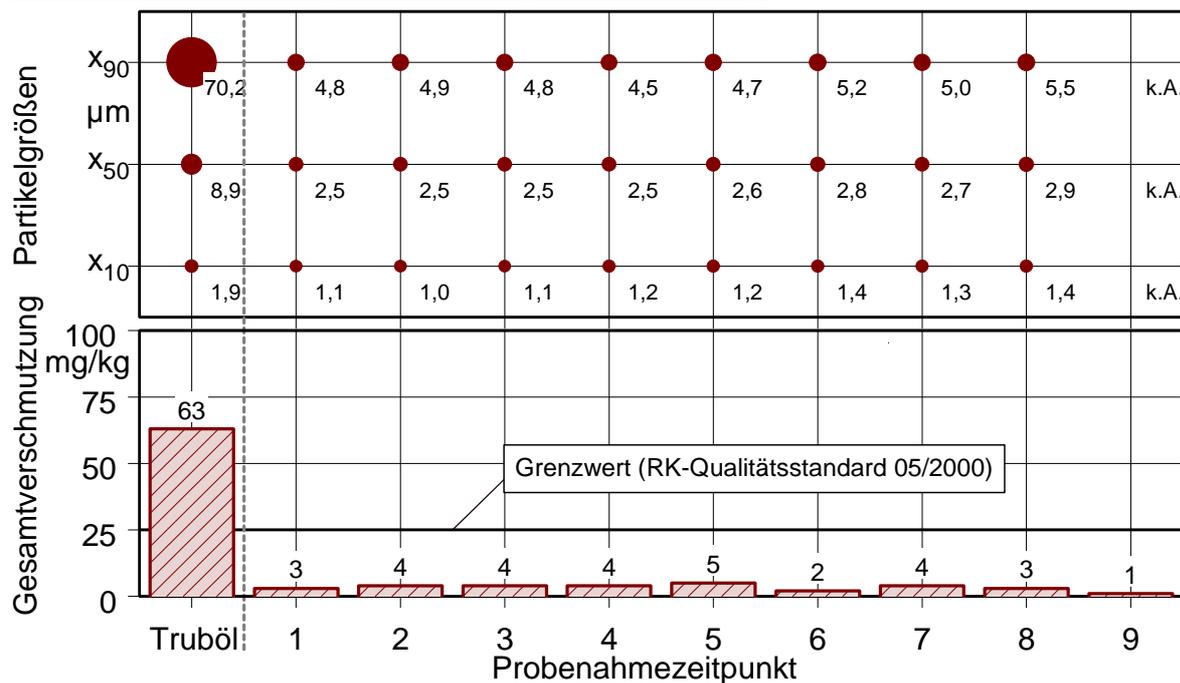
Probenahme 1-6 Teilstrom

Kerzenfilter - Versuch 25

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

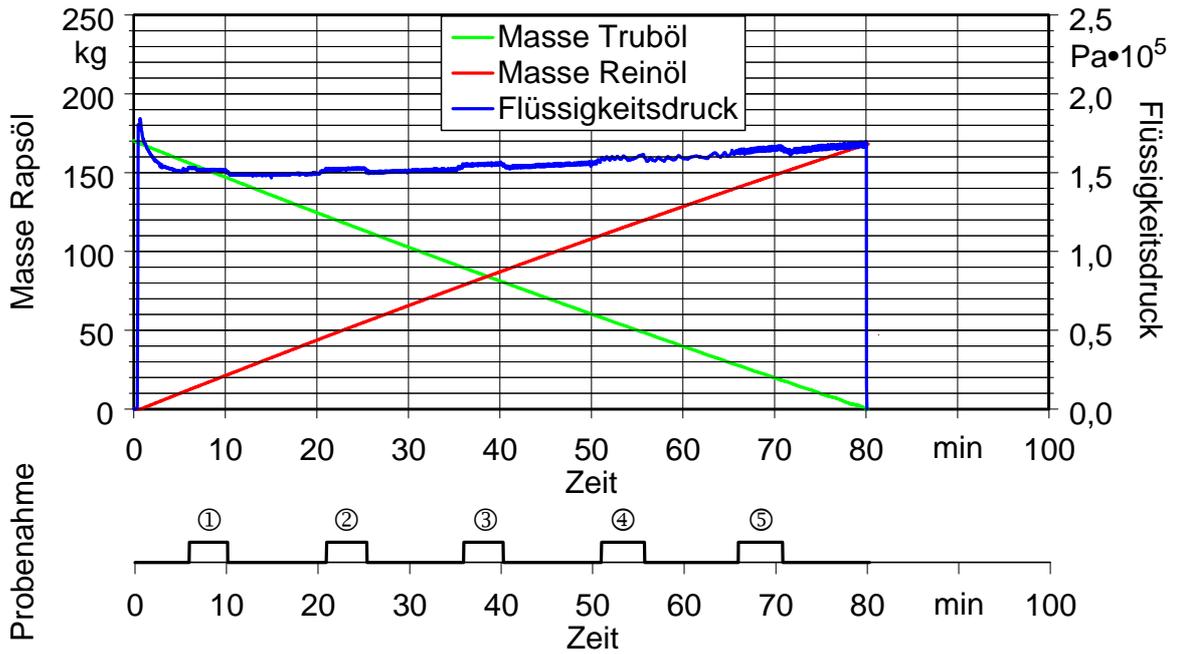
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	3	
Masse Trüböl gesamt	159	kg
Masse Reinöl gesamt	158	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,2	kg/min
Druck am Filter max.	2,5	bar

Anmerkungen:

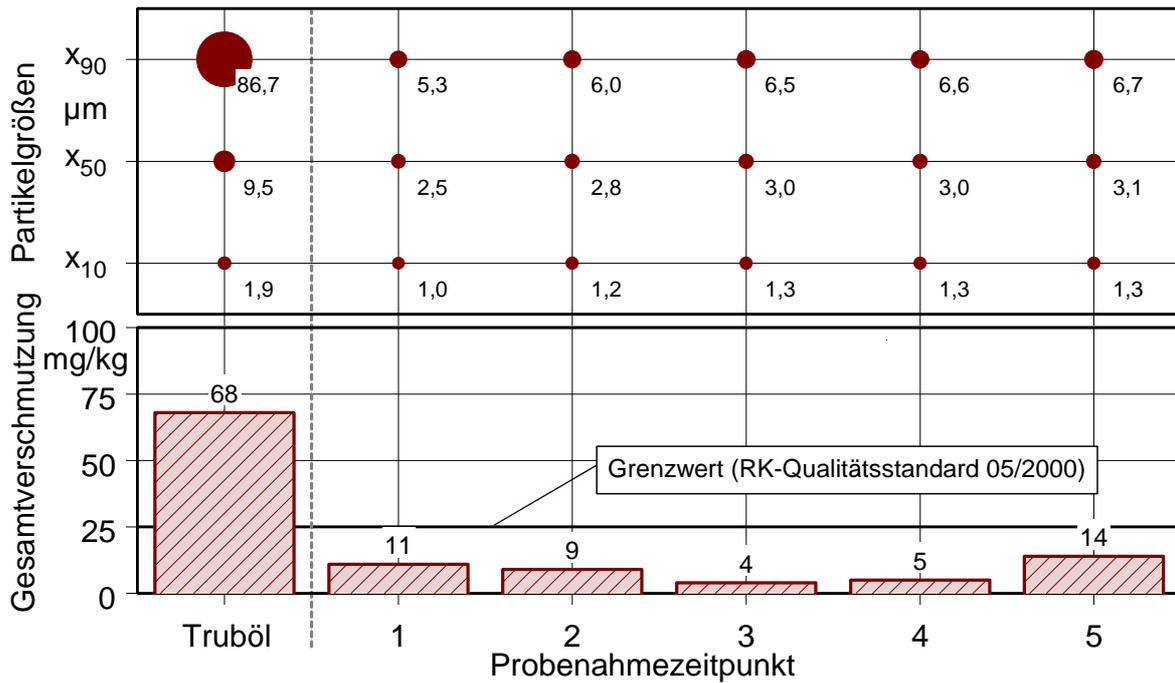
Probenahme 1-5 Teilstrom, 6-9 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 26

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

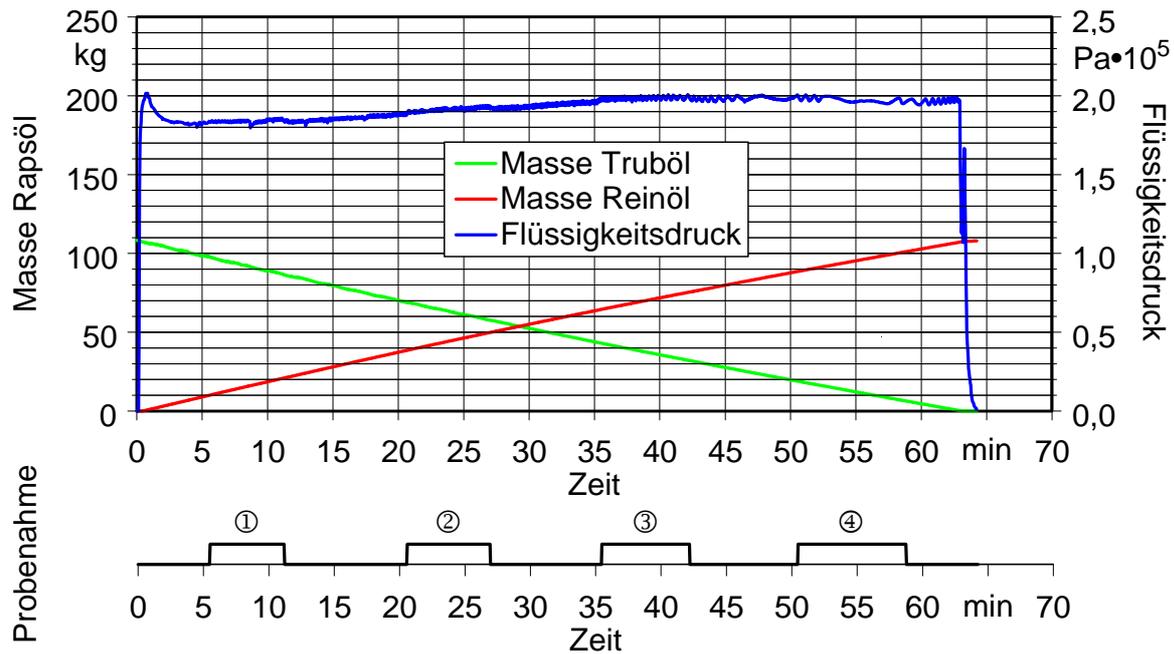
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	170	kg
Masse Reinöl gesamt	168	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,1	kg/min
Druck am Filter max.	1,8	bar

Anmerkungen:

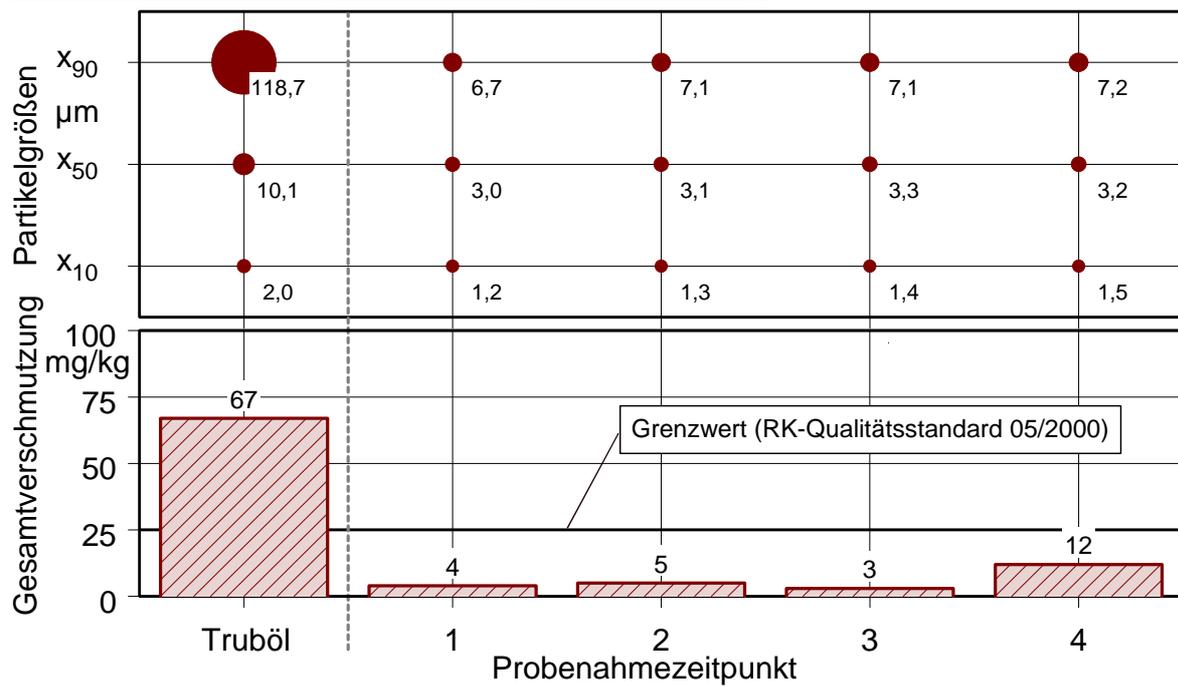
Probenahme 1-5 Teilstrom

Kerzenfilter - Versuch 27

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

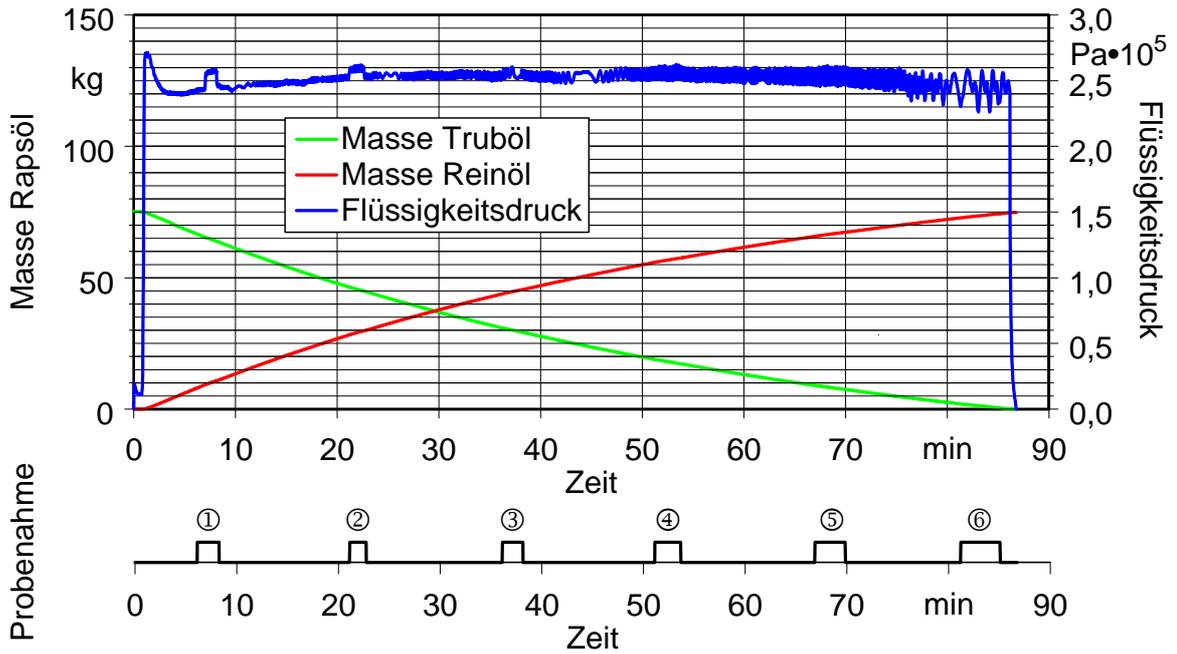
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	109	kg
Masse Reinöl gesamt	108	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,7	kg/min
Druck am Filter max.	2,0	bar

Anmerkungen:

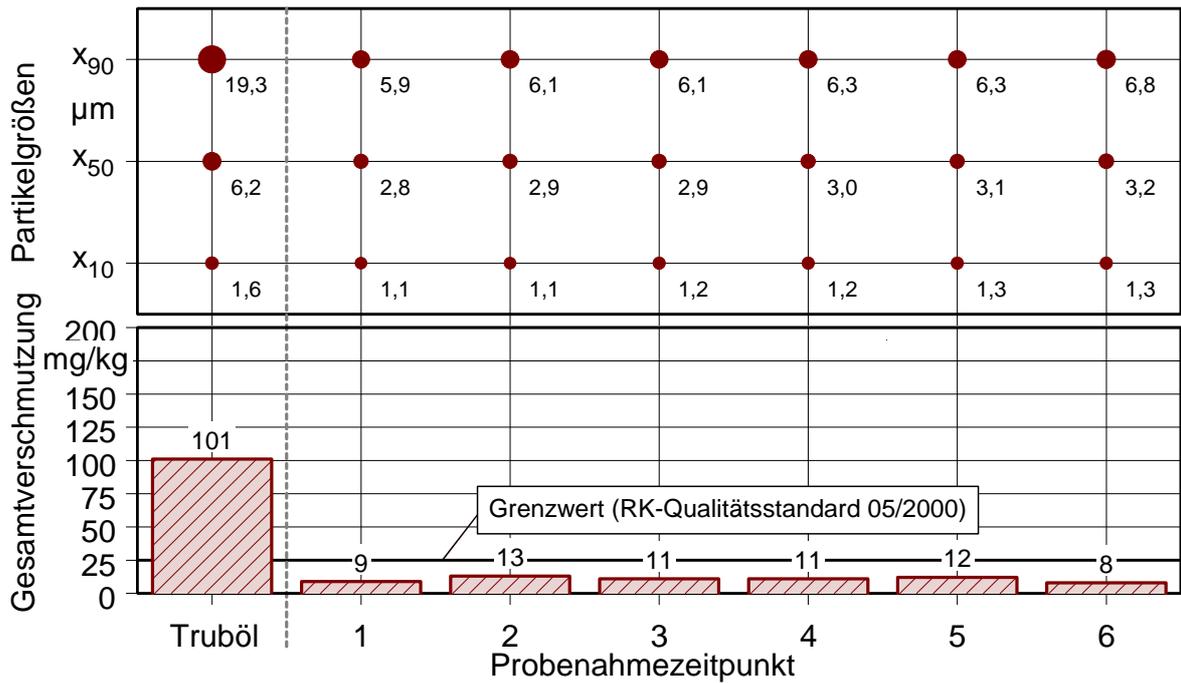
Probenahme 1-4 Teilstrom

Kerzenfilter - Versuch 28

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

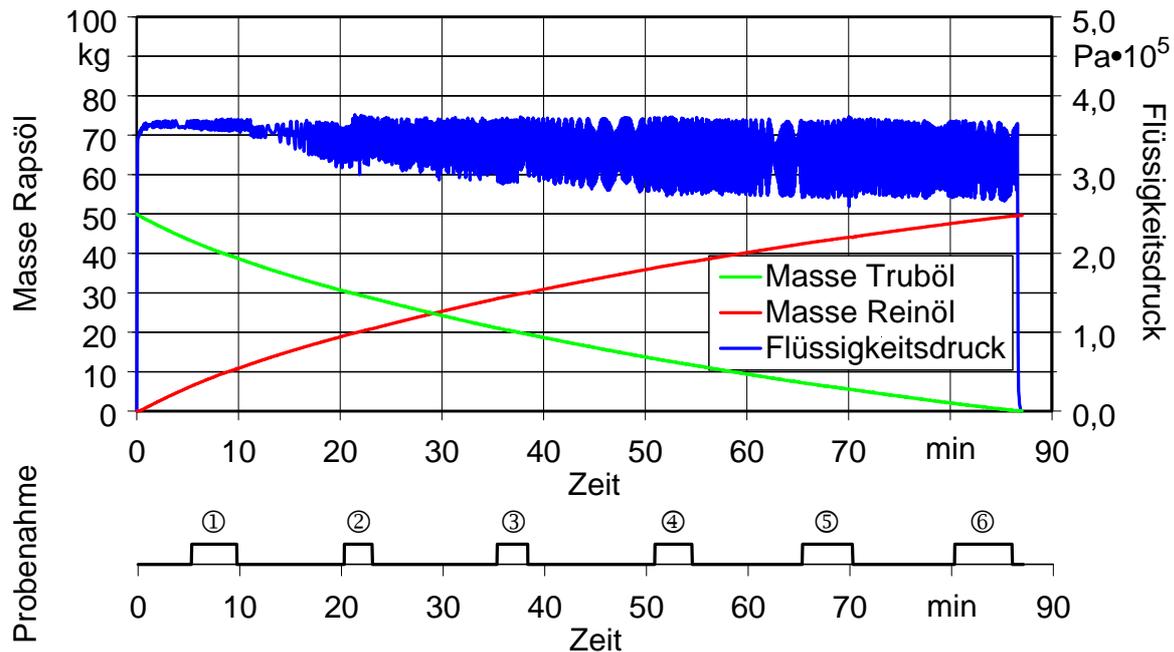
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	3	
Masse Trüböl gesamt	75	kg
Masse Reinöl gesamt	74	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,9	kg/min
Druck am Filter max.	2,7	bar

Anmerkungen:

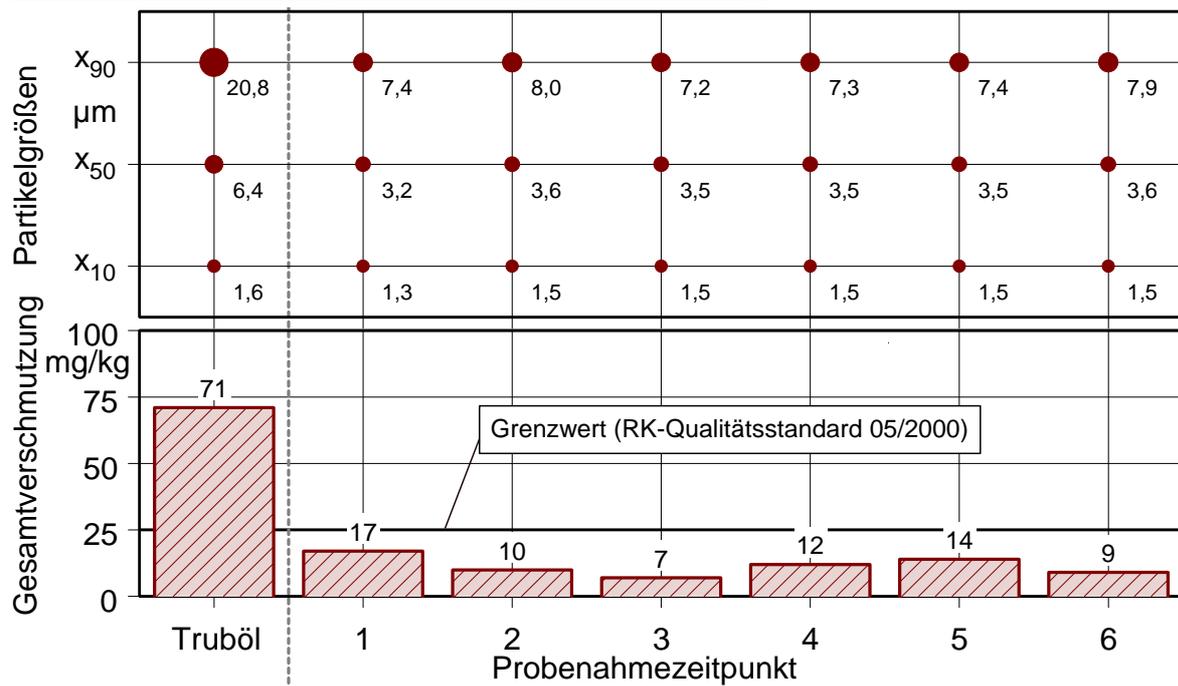
Probenahme 1-6 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 29

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

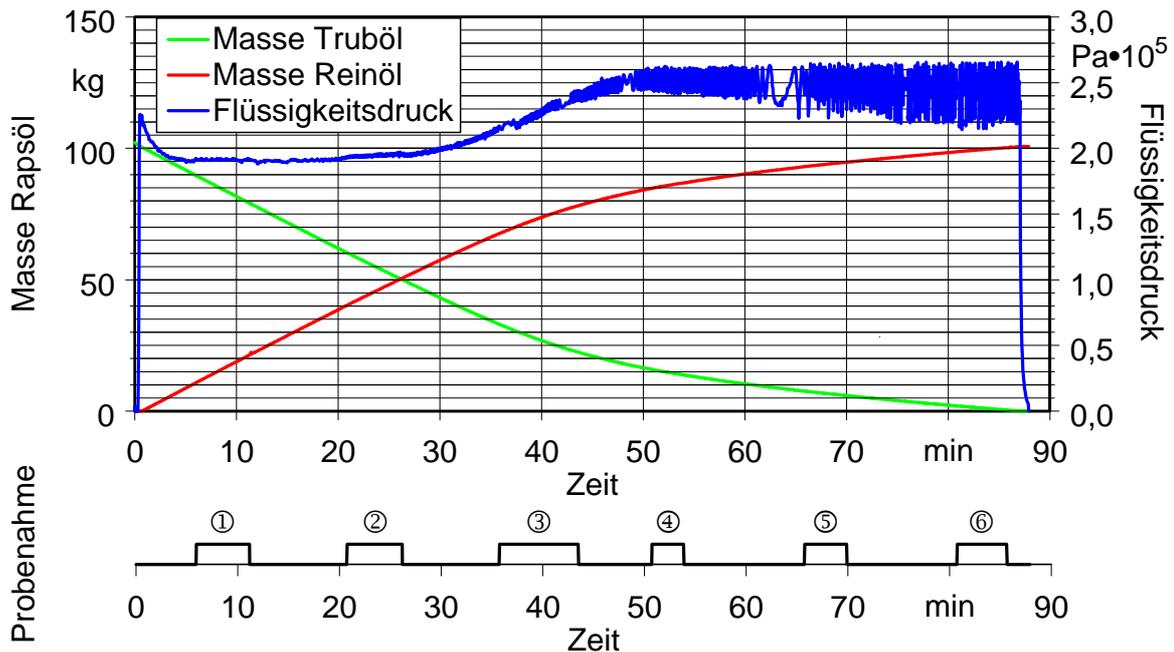
Filterkerze	CW 001 A10 SC	
Charge	4	
Masse Trüböl gesamt	50	kg
Masse Reinöl gesamt	49	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,6	kg/min
Druck am Filter max.	3,8	bar

Anmerkungen:

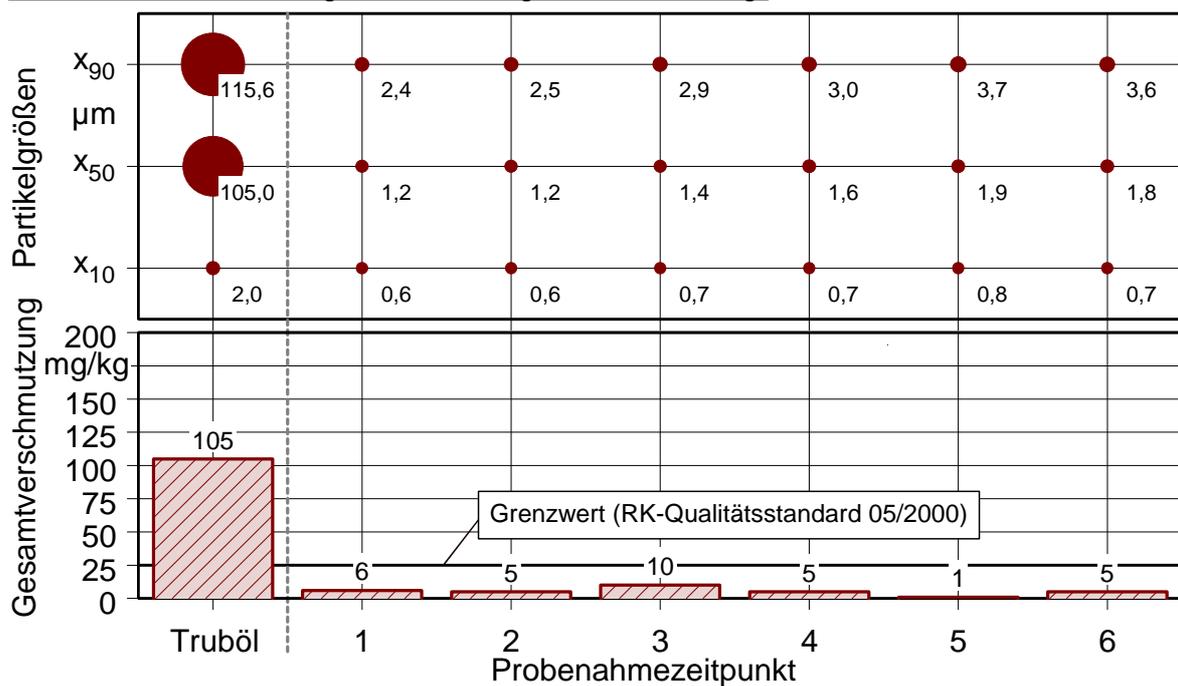
Probenahme 1-6 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 30

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

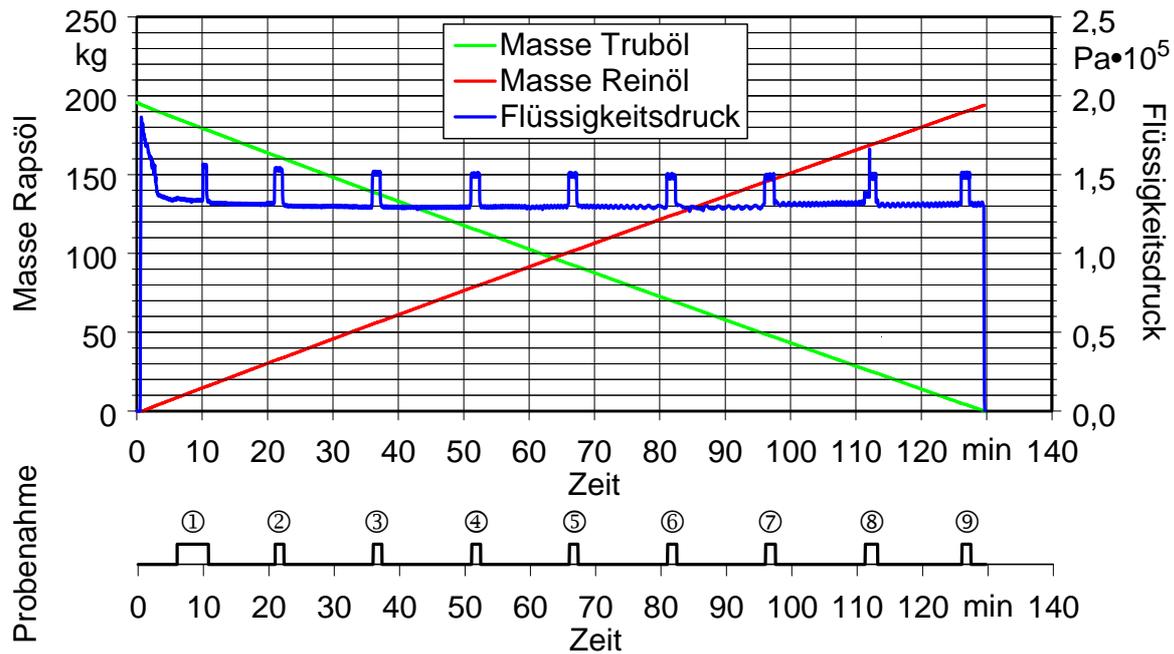
Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	102	kg
Masse Reinöl gesamt	101	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,2	kg/min
Druck am Filter max.	2,7	bar

Anmerkungen:

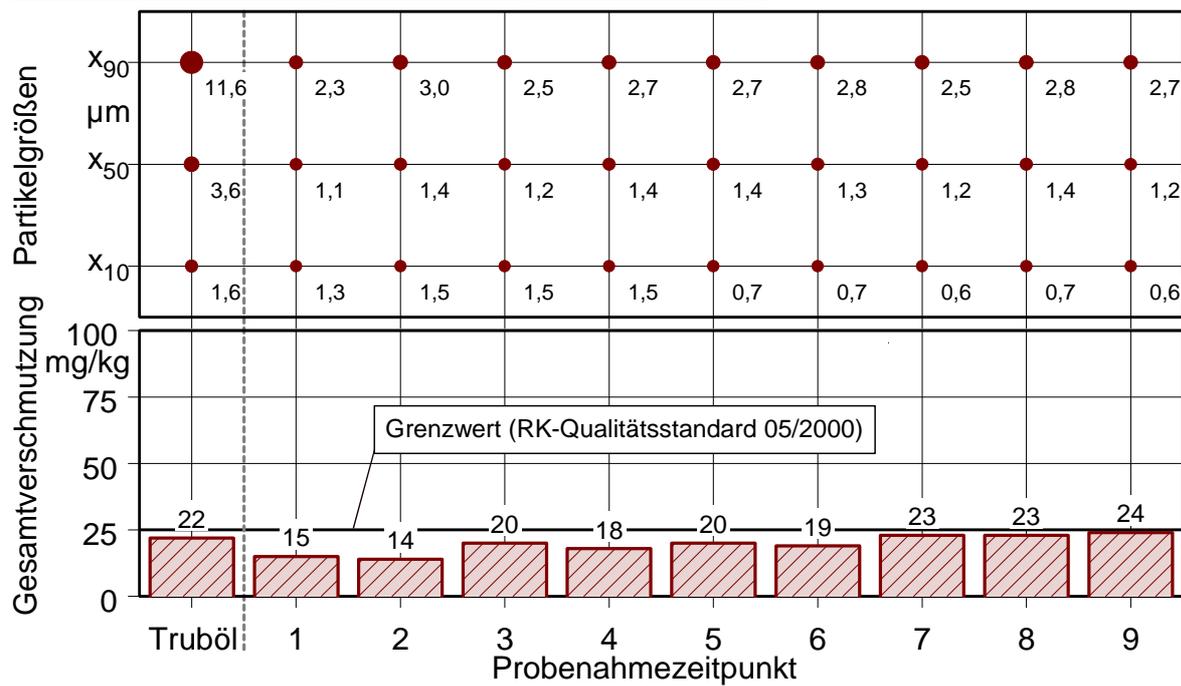
Probenahme 1-3 Teilstrom, 4-6 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 31

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

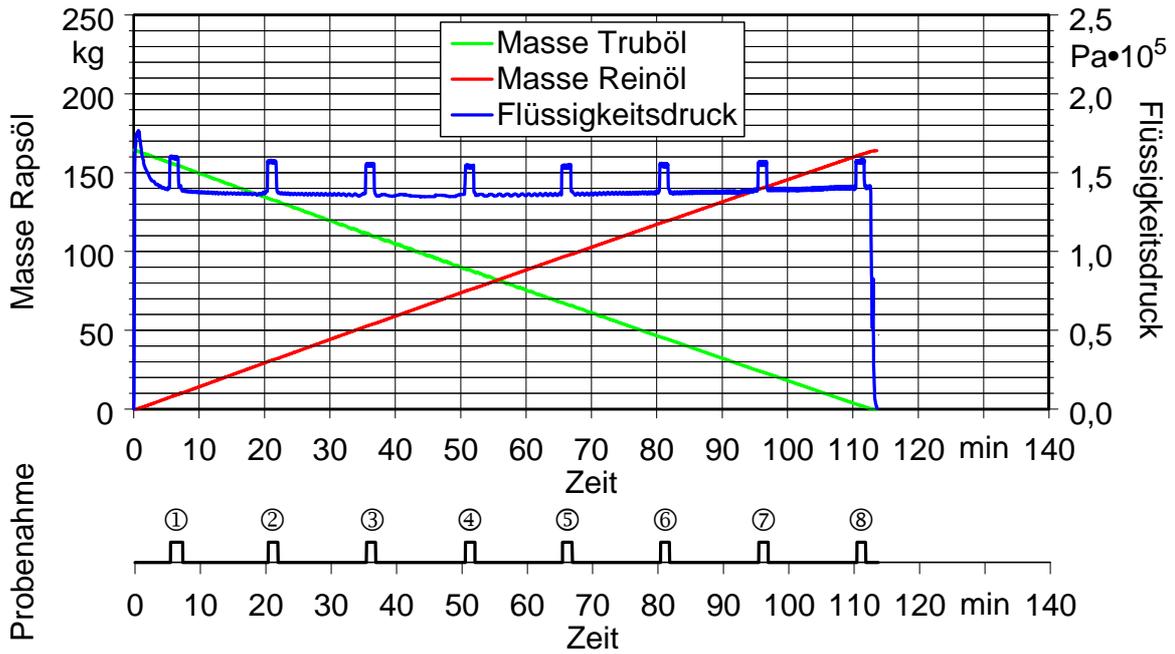
Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	196	kg
Masse Reinöl gesamt	194	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,5	kg/min
Druck am Filter max.	1,87	bar

Anmerkungen:

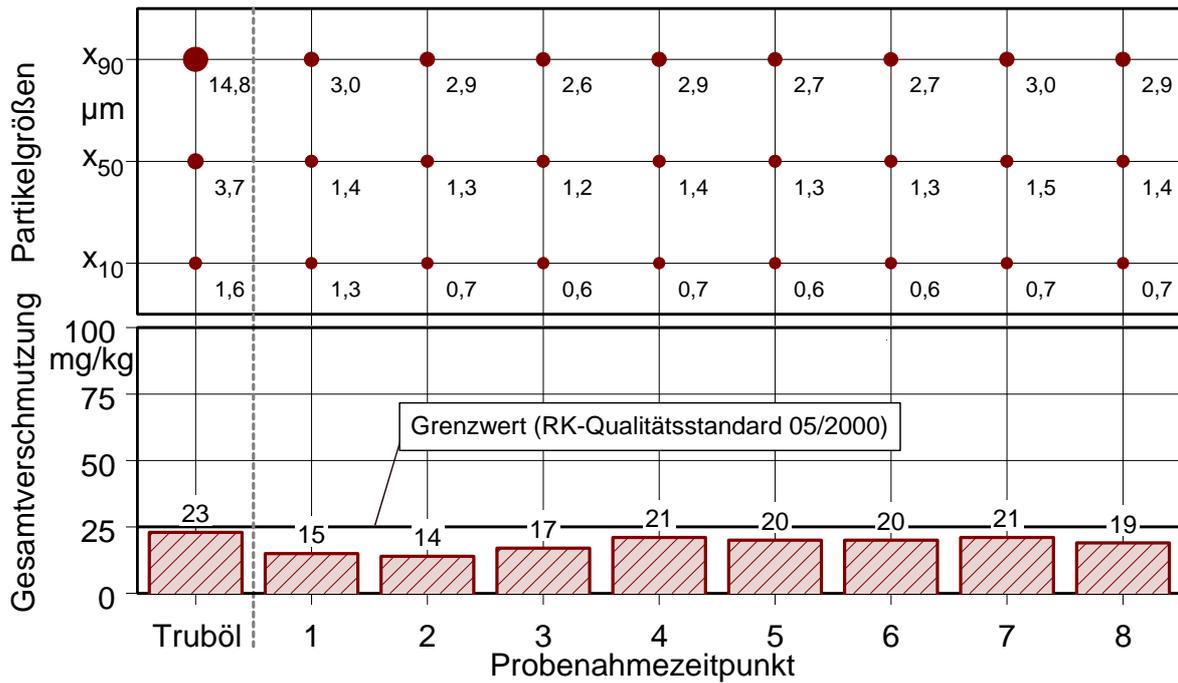
Probenahme 1-9 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 32

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

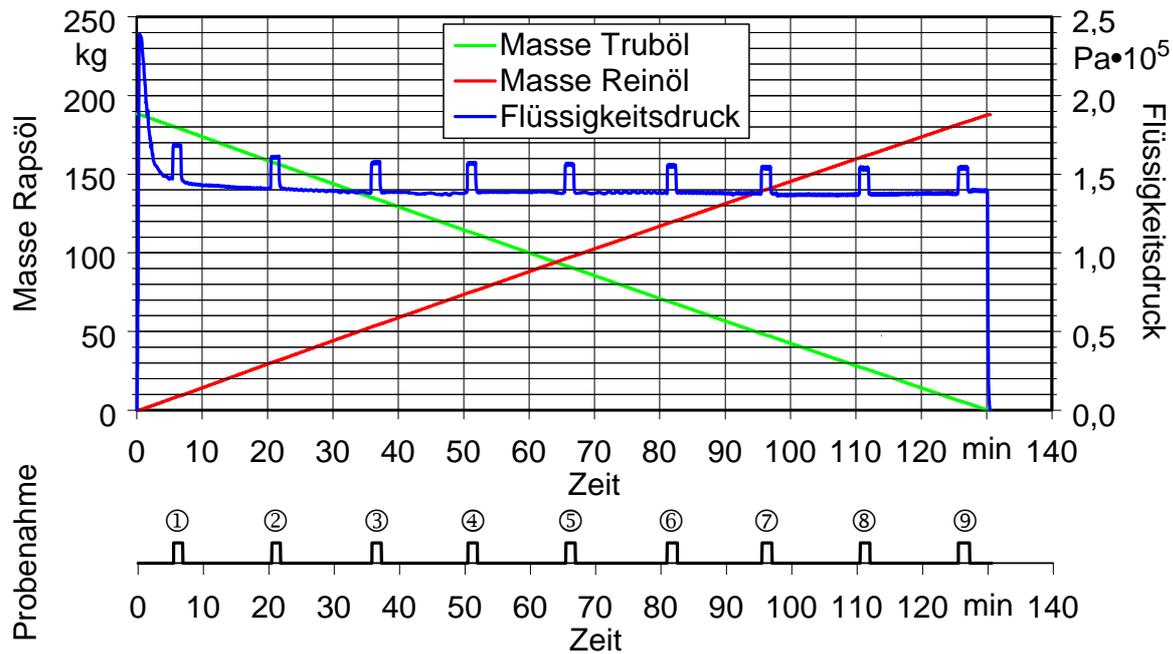
Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	165	kg
Masse Reinöl gesamt	164	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,4	kg/min
Druck am Filter max.	1,77	bar

Anmerkungen:

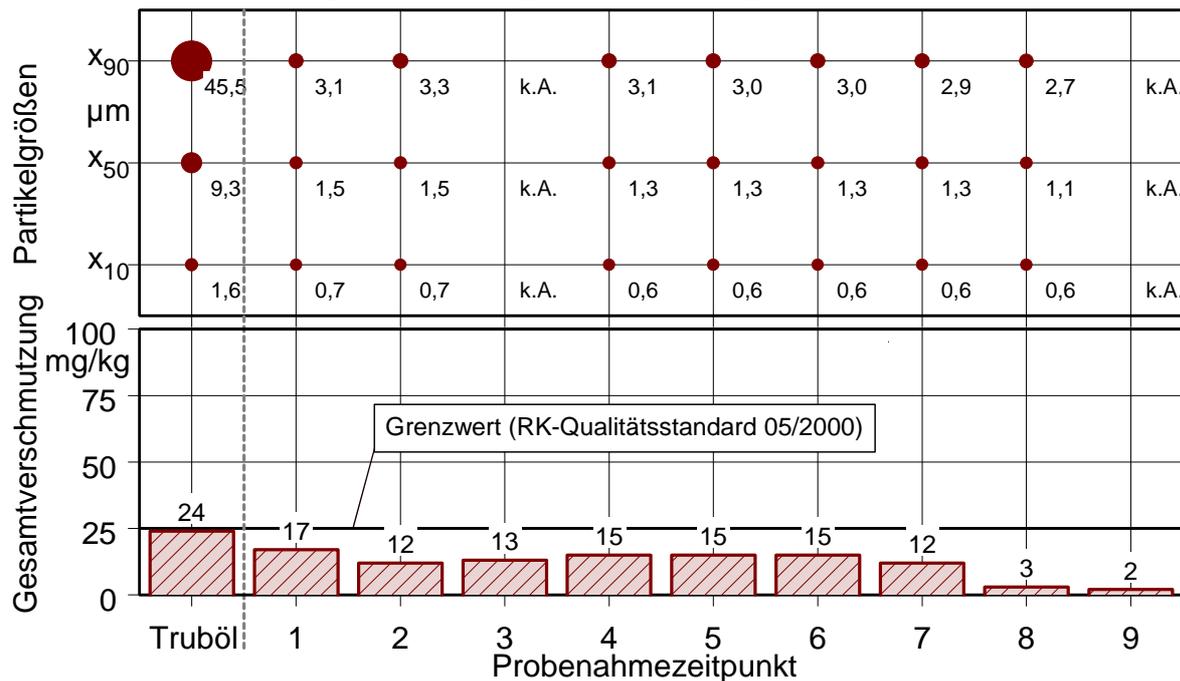
Probenahme 1-8 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 33

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

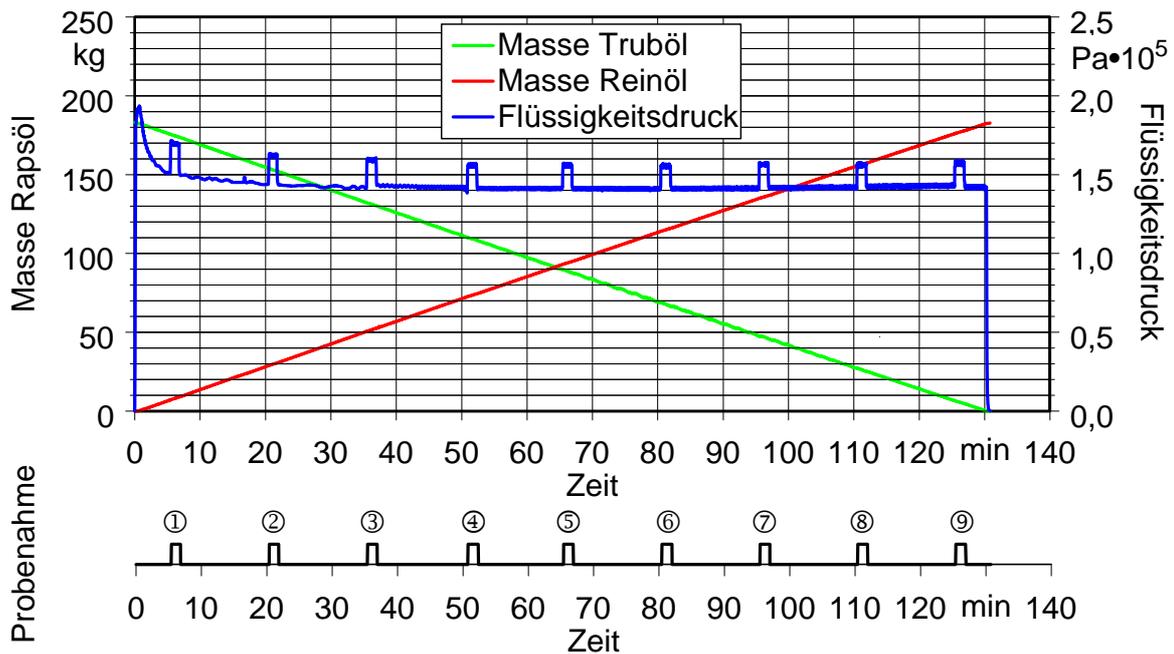
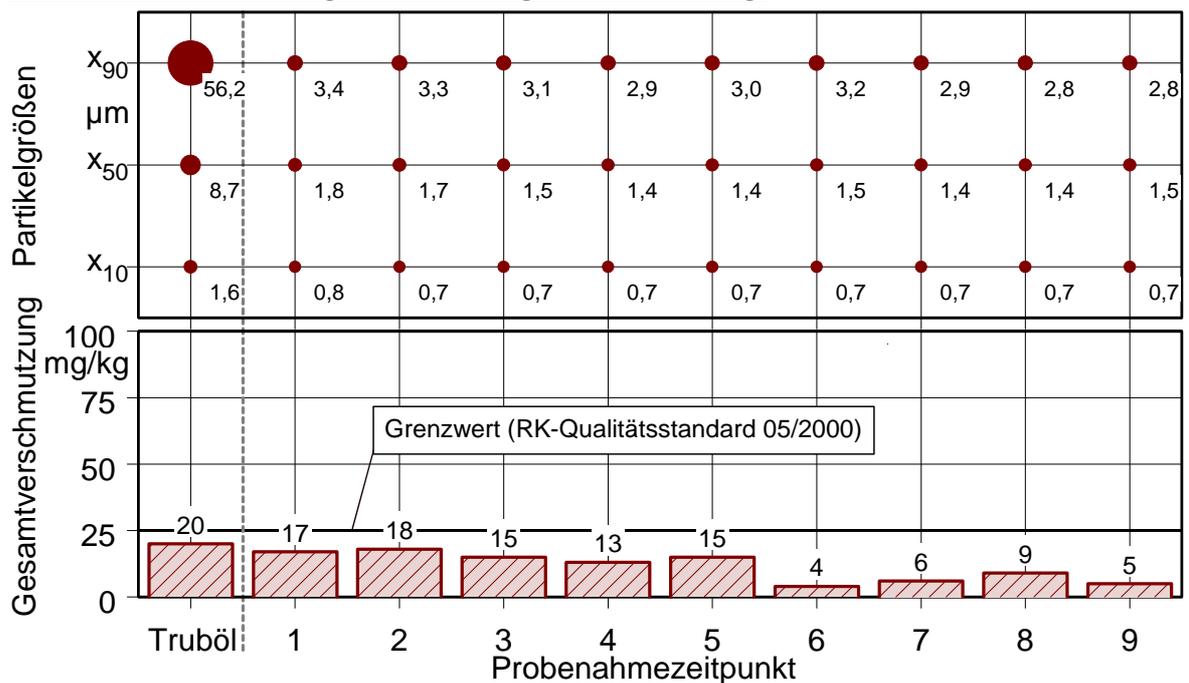


Versuchsparameter:

Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	3	
Masse Trüböl gesamt	188	kg
Masse Reinöl gesamt	187	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,4	kg/min
Druck am Filter max.	2,39	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-9 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 34Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

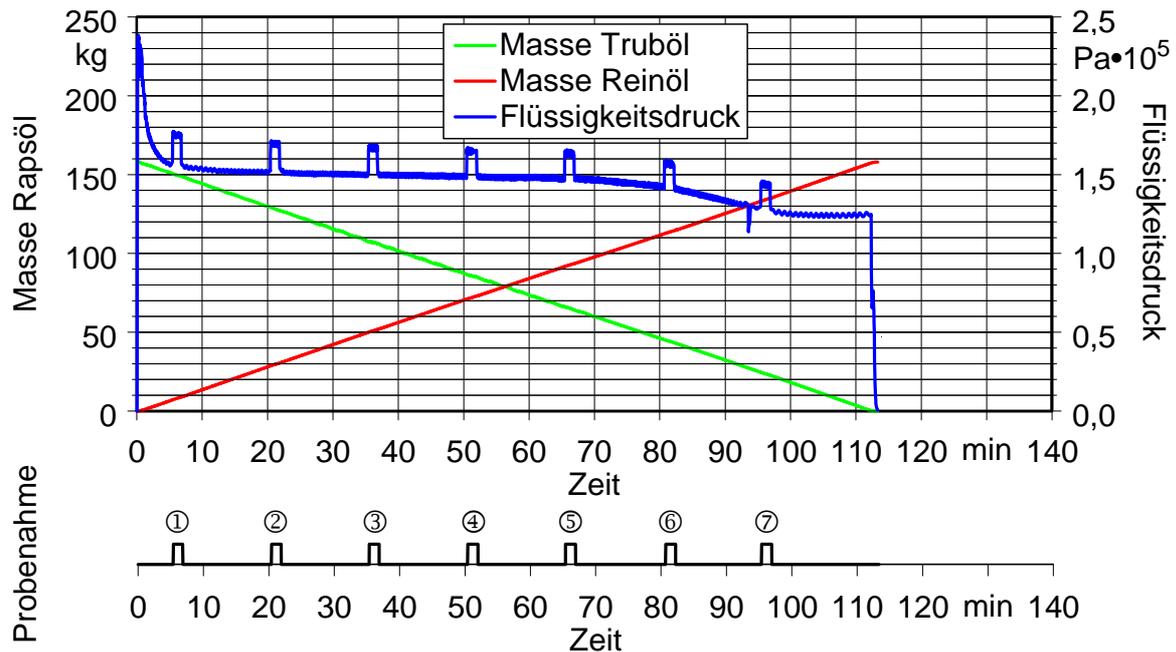
Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	4	
Masse Trüböl gesamt	183	kg
Masse Reinöl gesamt	182	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,4	kg/min
Druck am Filter max.	1,94	bar

Anmerkungen:

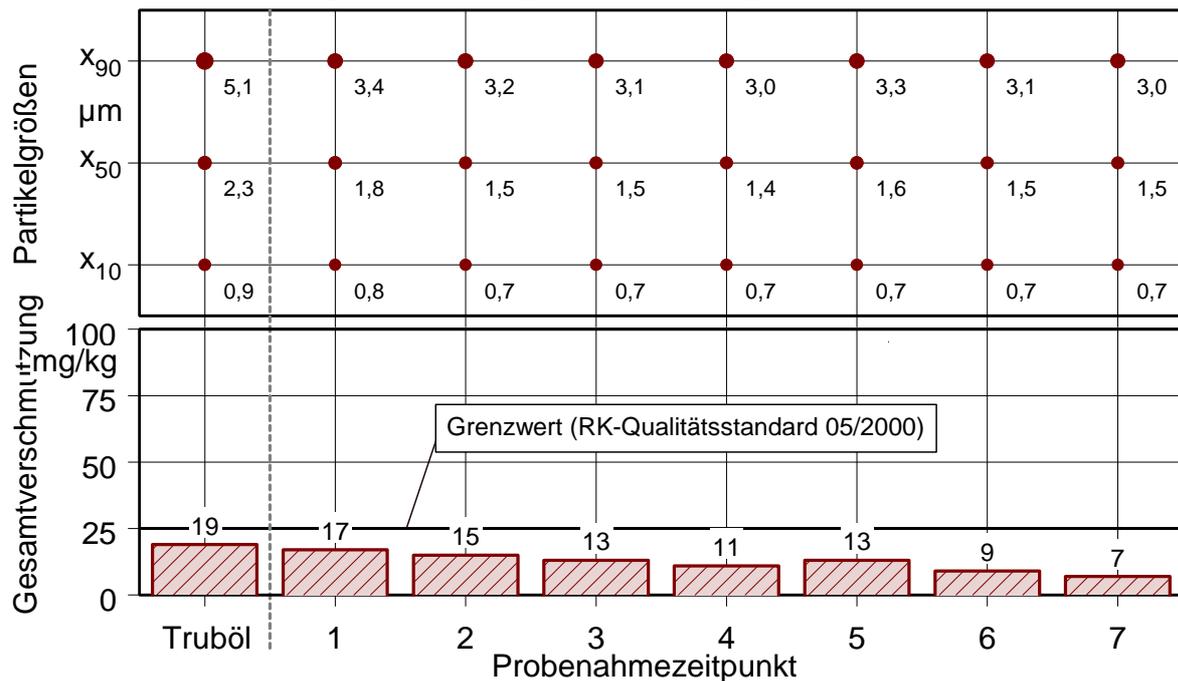
Probenahme 1-9 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 35

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

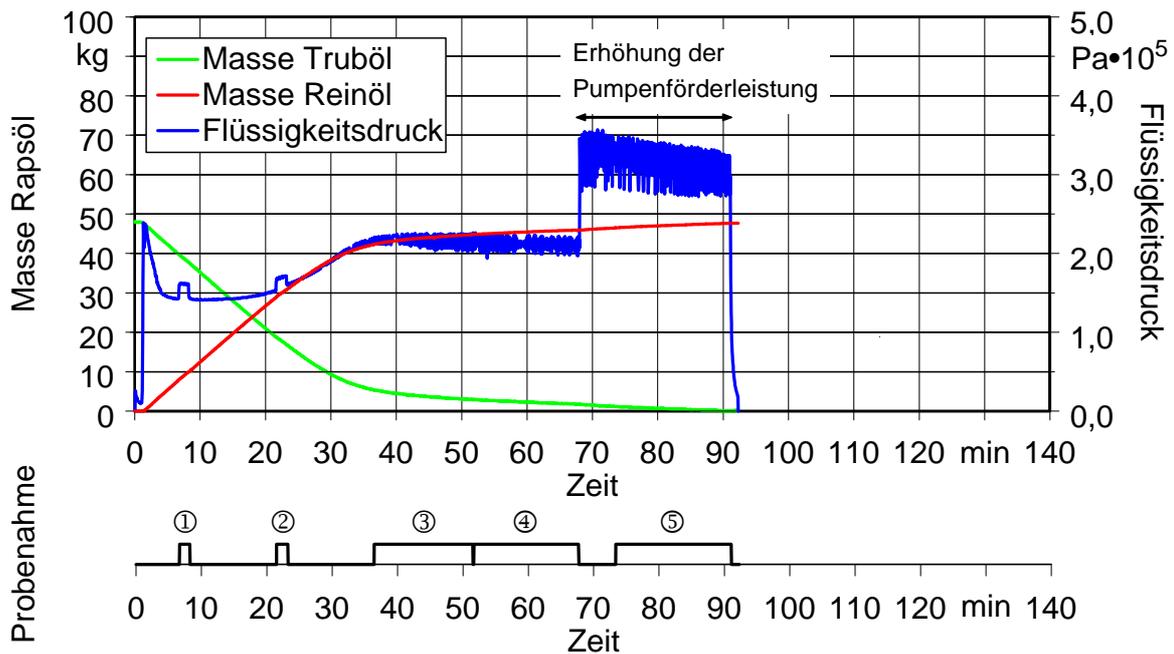
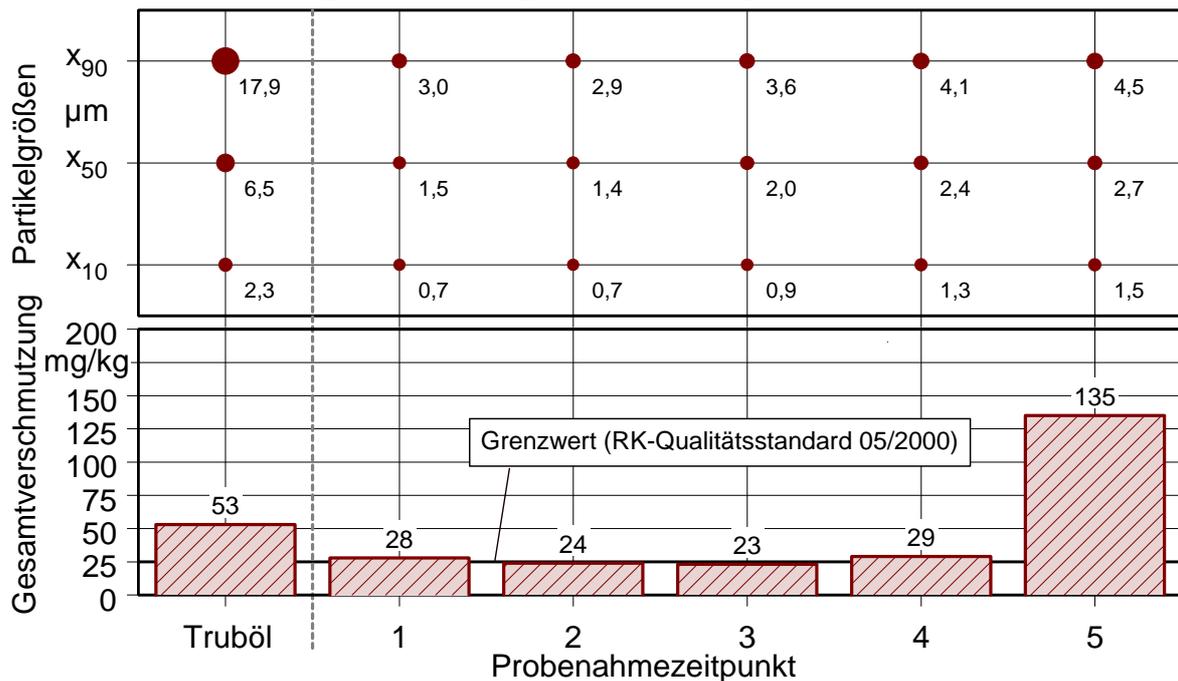


Versuchsparameter:

Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	5	
Masse Trüböl gesamt	159	kg
Masse Reinöl gesamt	158	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	1,4	kg/min
Druck am Filter max.	2,38	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-7 Hauptstrom

Kerzenfilter - Versuch 36Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

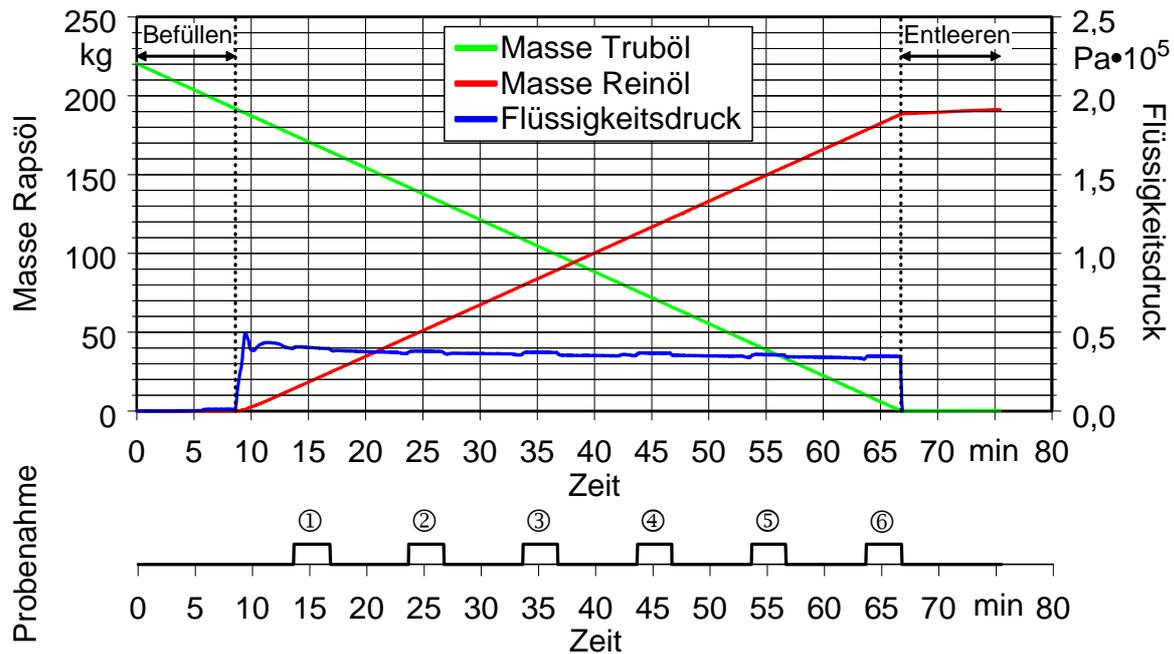
Filterkerze	WS 01 10 U-X4N	
Charge	6	
Masse Trüböl gesamt	48	kg
Masse Reinöl gesamt	47	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,5	kg/min
Druck am Filter max.	3,57	bar

Anmerkungen:

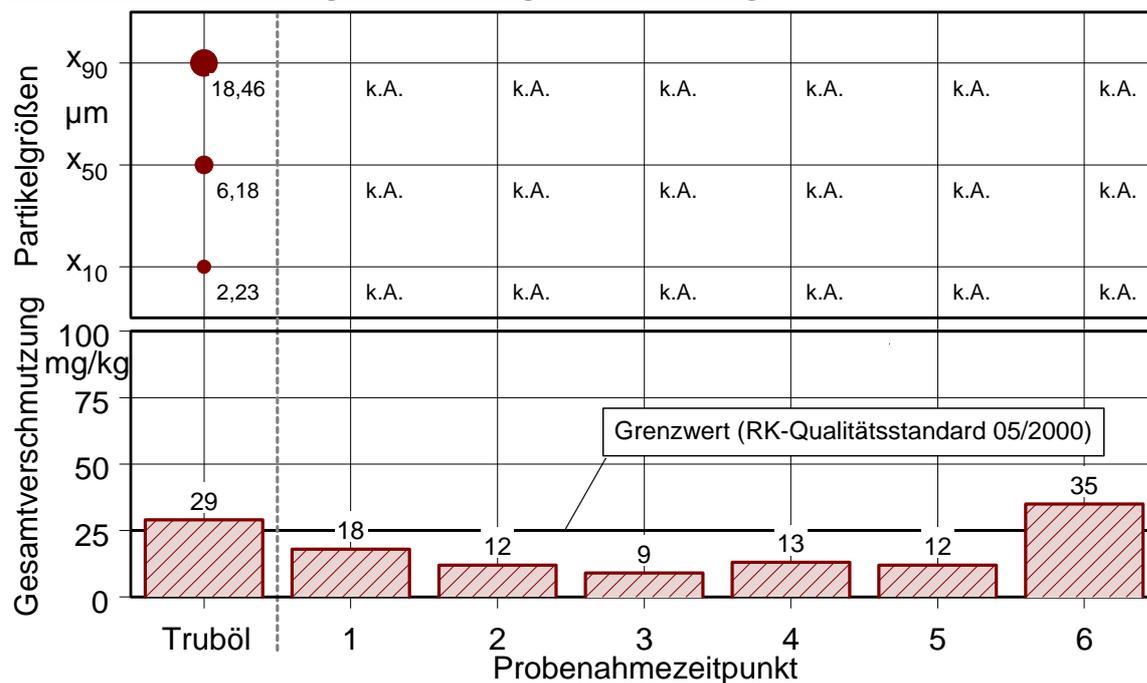
Probenahme 1-5 Hauptstrom

Tiefenfilter - Versuch 37

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

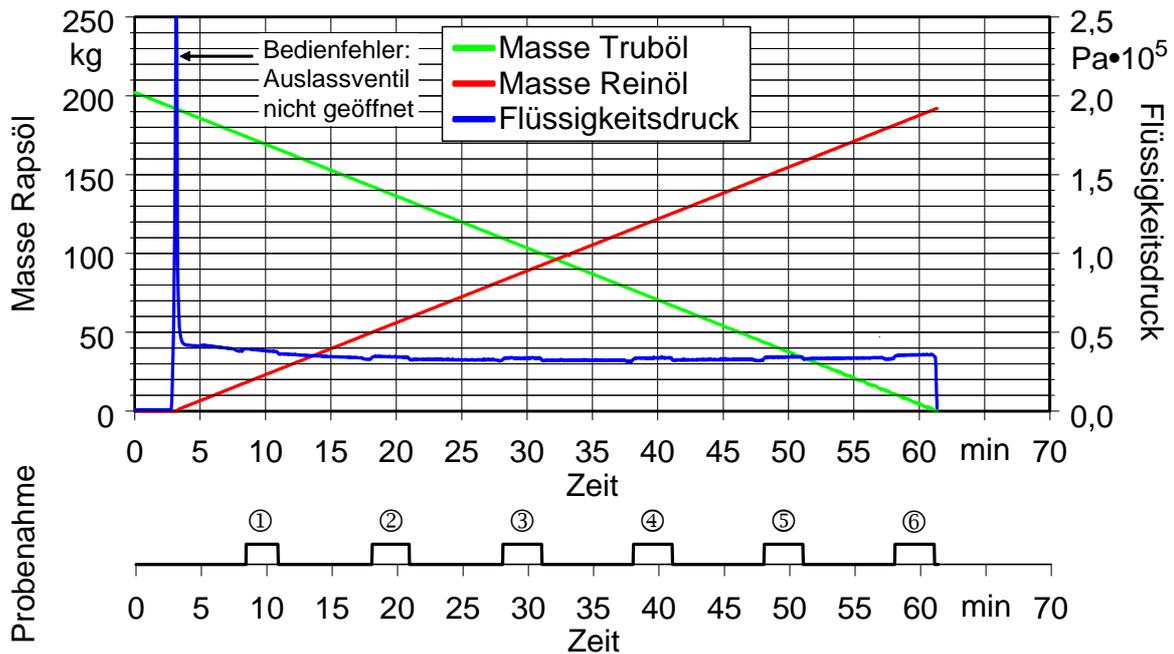
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	1	
Masse Trüböl gesamt	220	kg
Masse Reinöl gesamt	191	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	2,8	kg/min
Druck am Filter max.	0,49	bar

Anmerkungen:

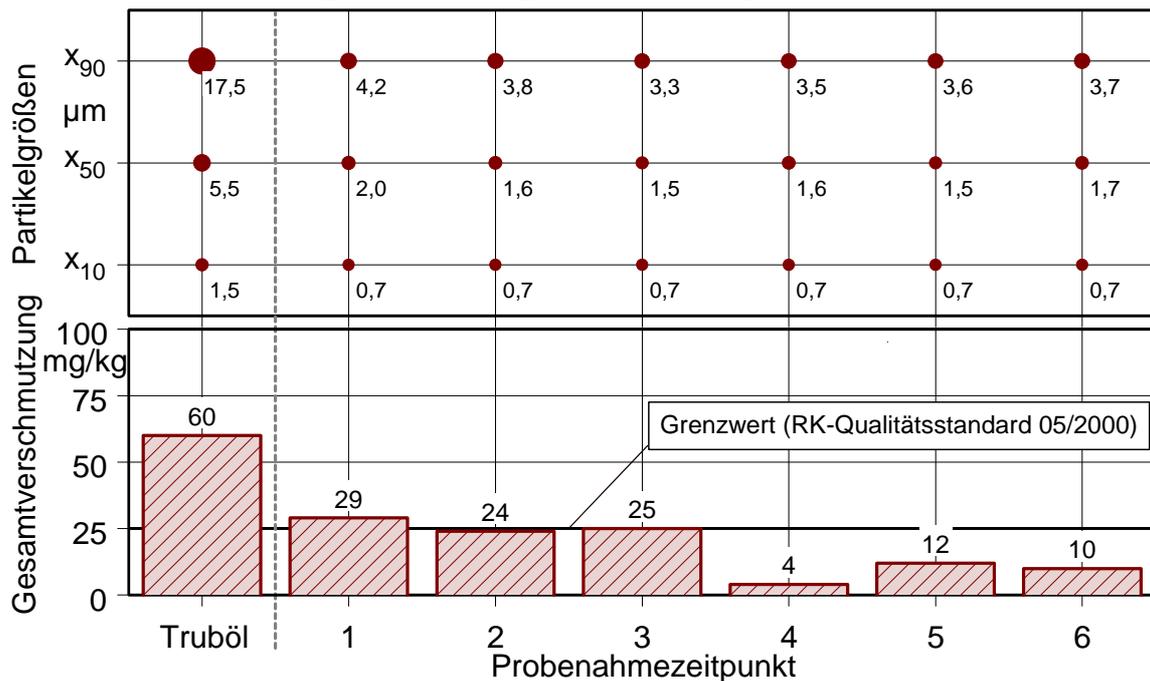
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 38

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

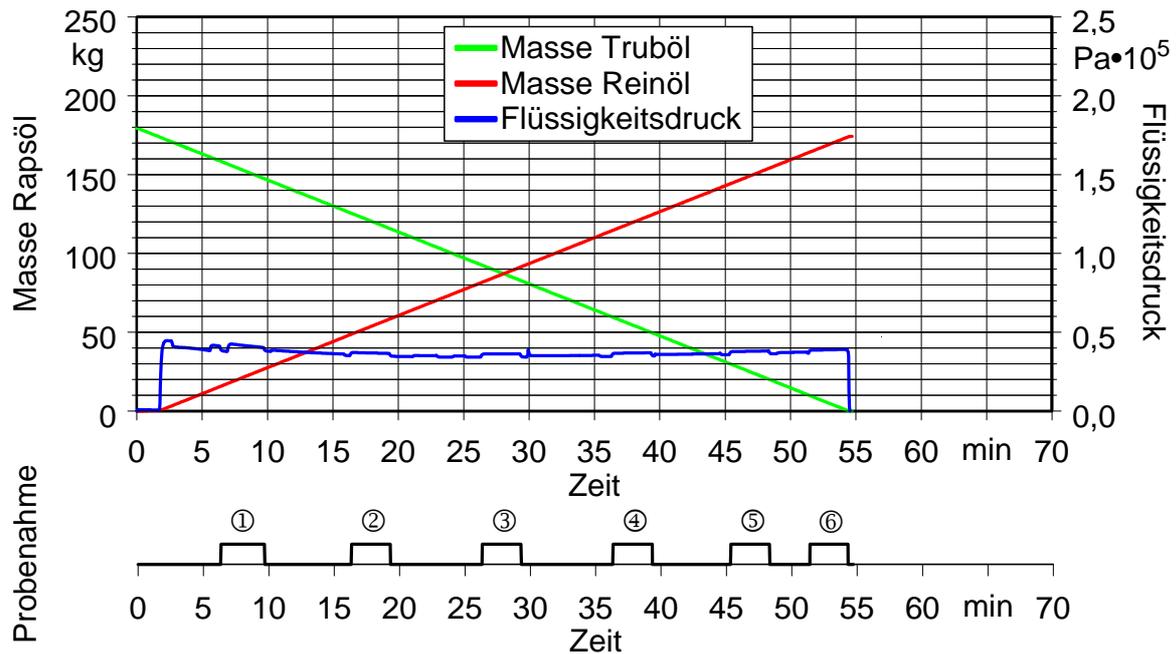
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	2	
Masse Trüböl gesamt	202	kg
Masse Reinöl gesamt	192	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,1	kg/min
Druck am Filter max.	3,05	bar

Anmerkungen:

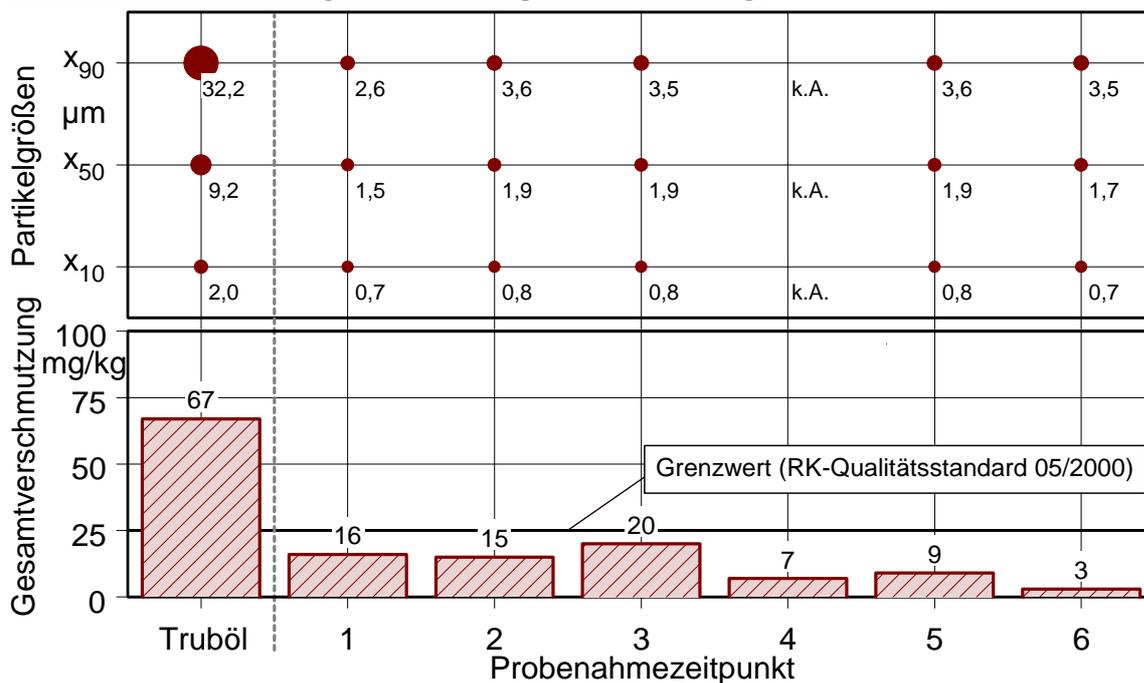
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 39

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

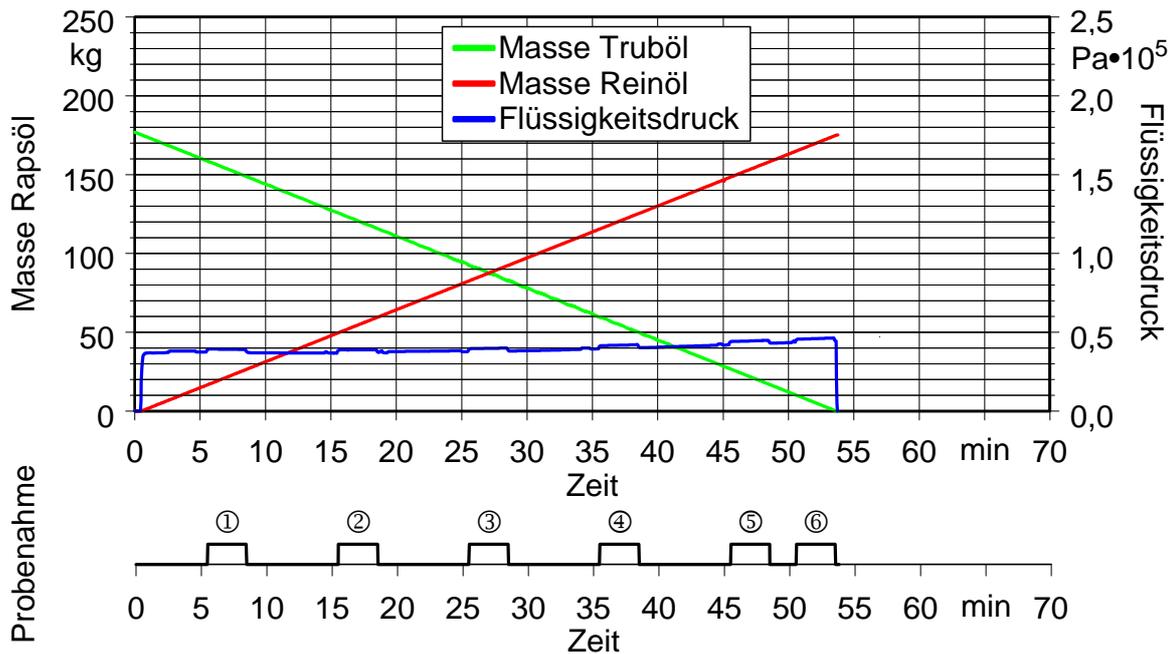
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	3	
Masse Trüböl gesamt	180	kg
Masse Reinöl gesamt	174	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,2	kg/min
Druck am Filter max.	0,45	bar

Anmerkungen:

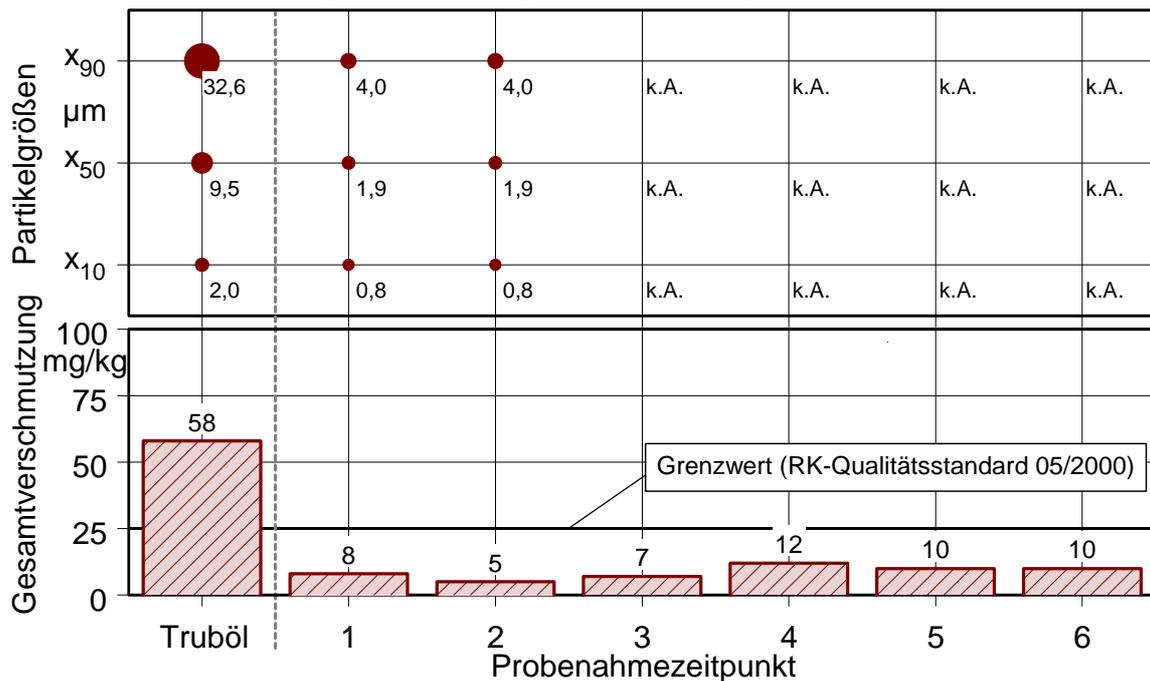
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 40

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

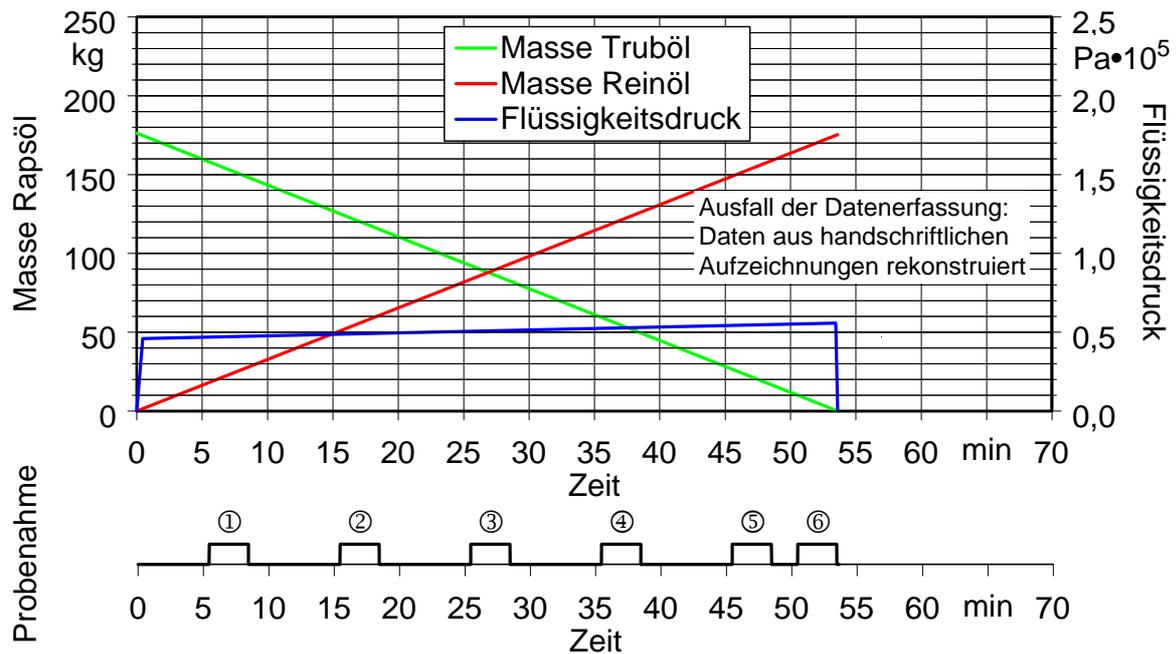
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	4	
Masse Trüböl gesamt	177	kg
Masse Reinöl gesamt	175	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,3	kg/min
Druck am Filter max.	0,46	bar

Anmerkungen:

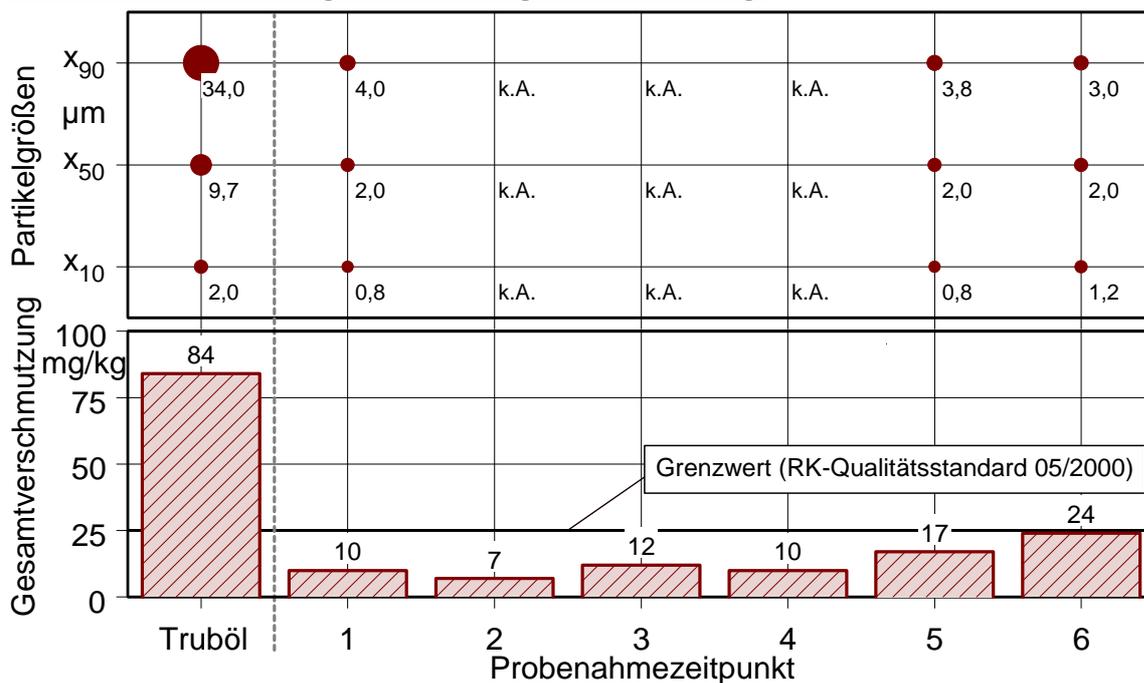
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 41

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

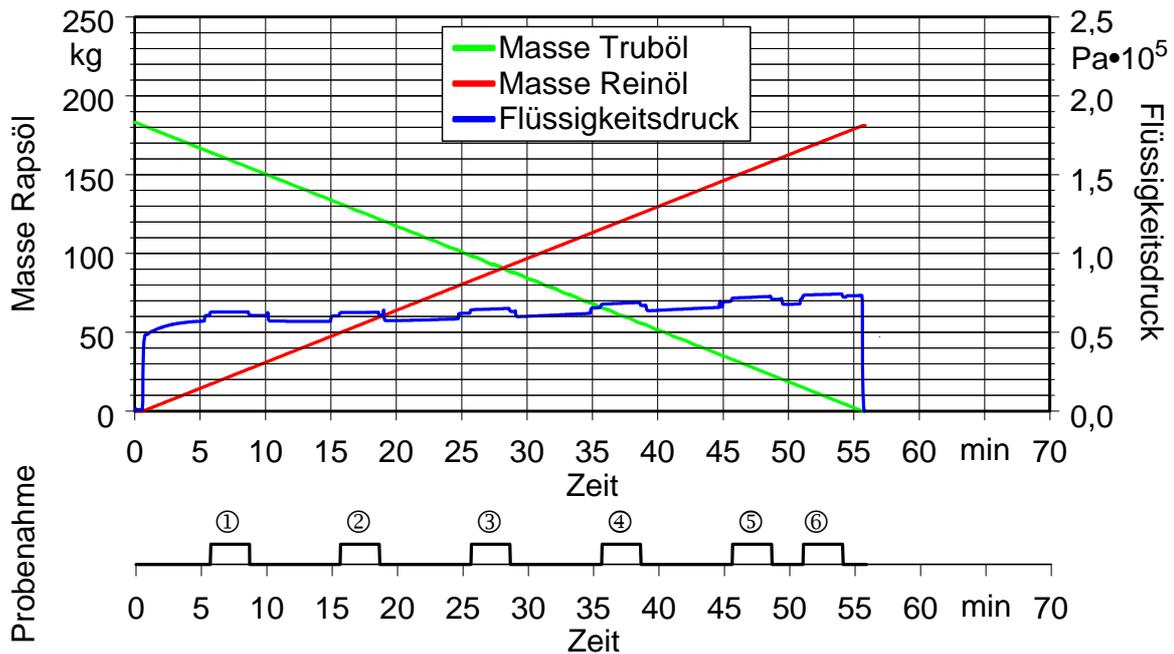
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	5	
Masse Trüböl gesamt	176	kg
Masse Reinöl gesamt	175	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,3	kg/min
Druck am Filter max.	0,56	bar

Anmerkungen:

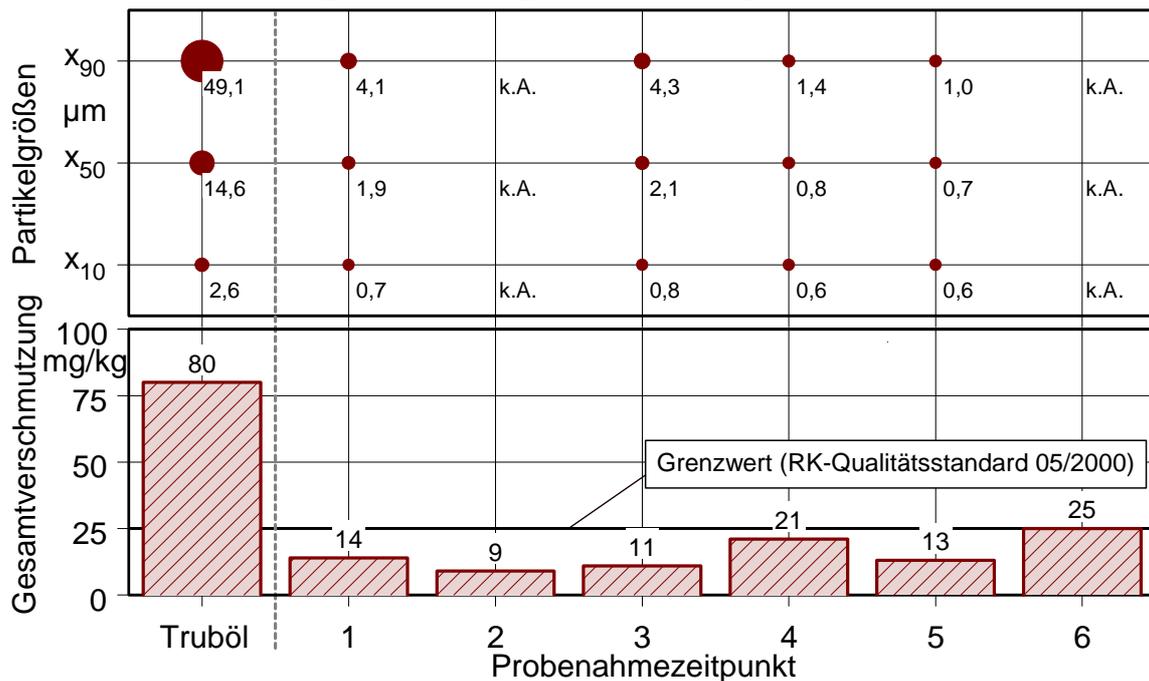
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 42

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

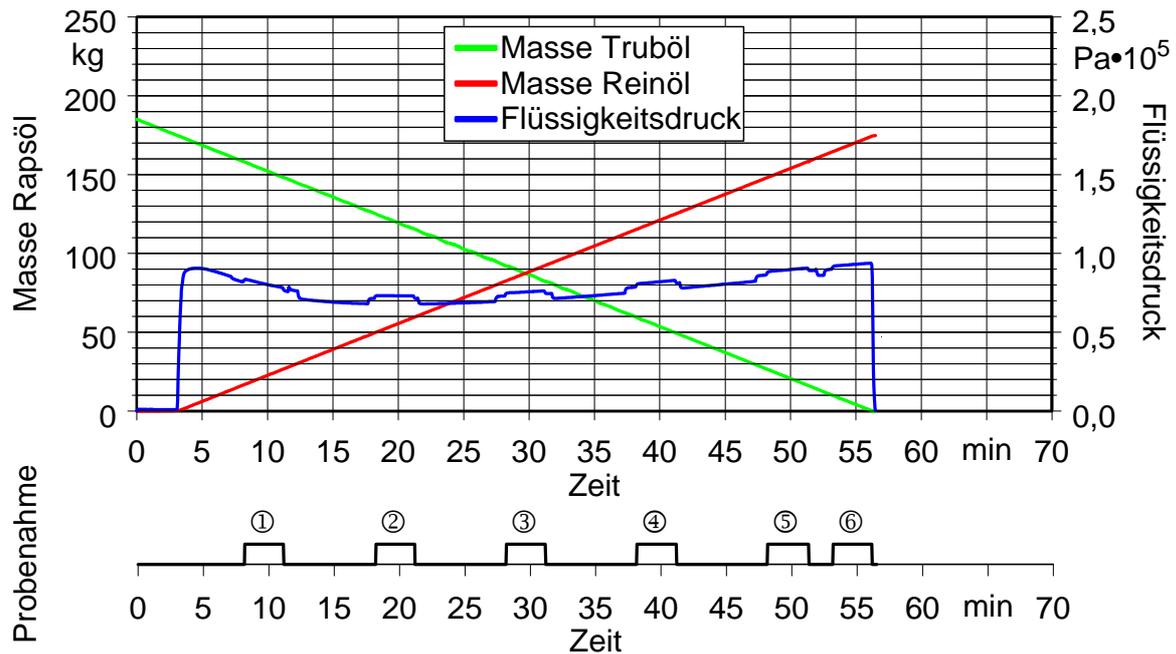
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	6	
Masse Trüböl gesamt	183	kg
Masse Reinöl gesamt	181	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,2	kg/min
Druck am Filter max.	0,74	bar

Anmerkungen:

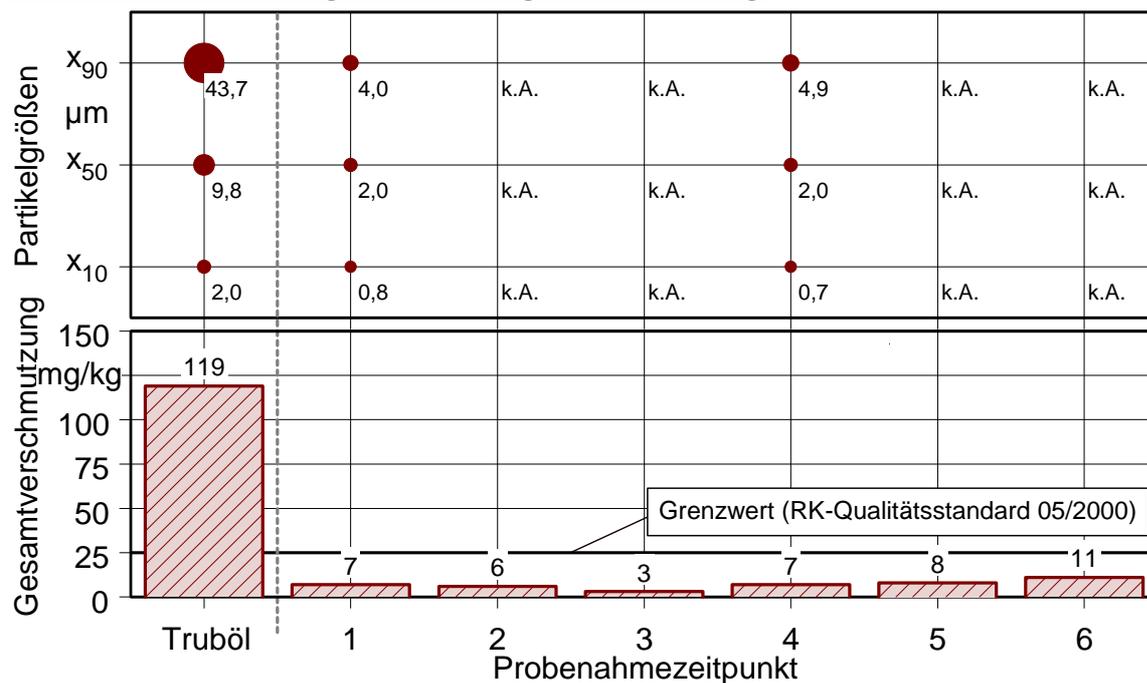
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 43

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

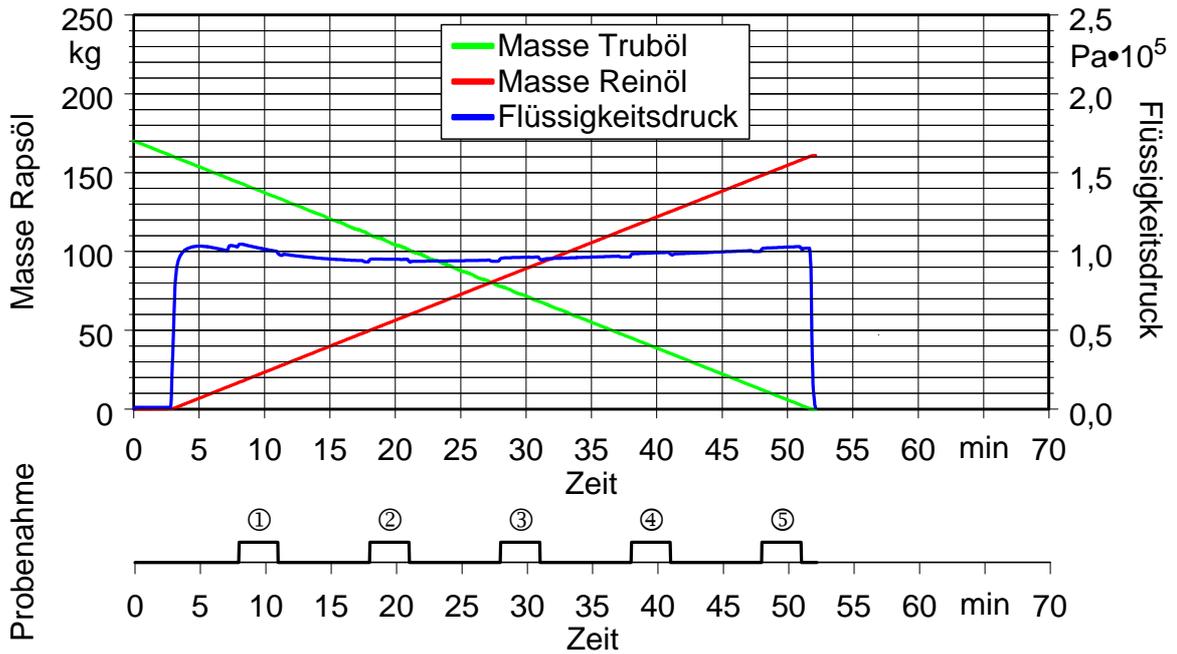
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	7	
Masse Trüböl gesamt	185	kg
Masse Reinöl gesamt	174	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,1	kg/min
Druck am Filter max.	0,94	bar

Anmerkungen:

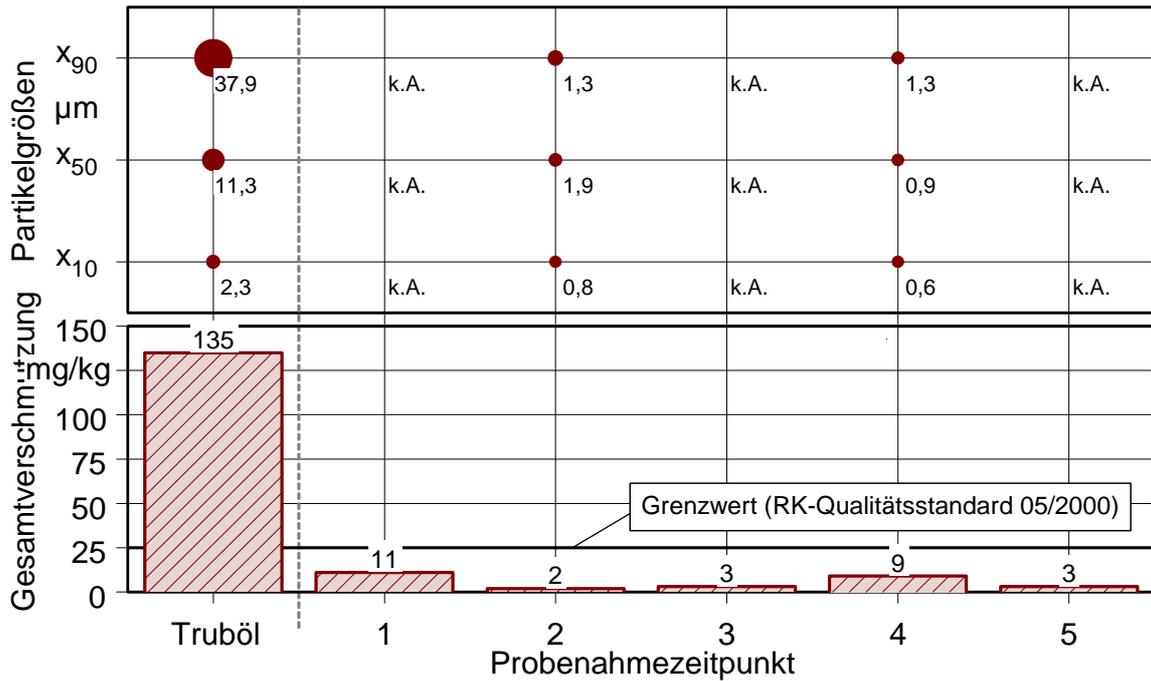
Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 44

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

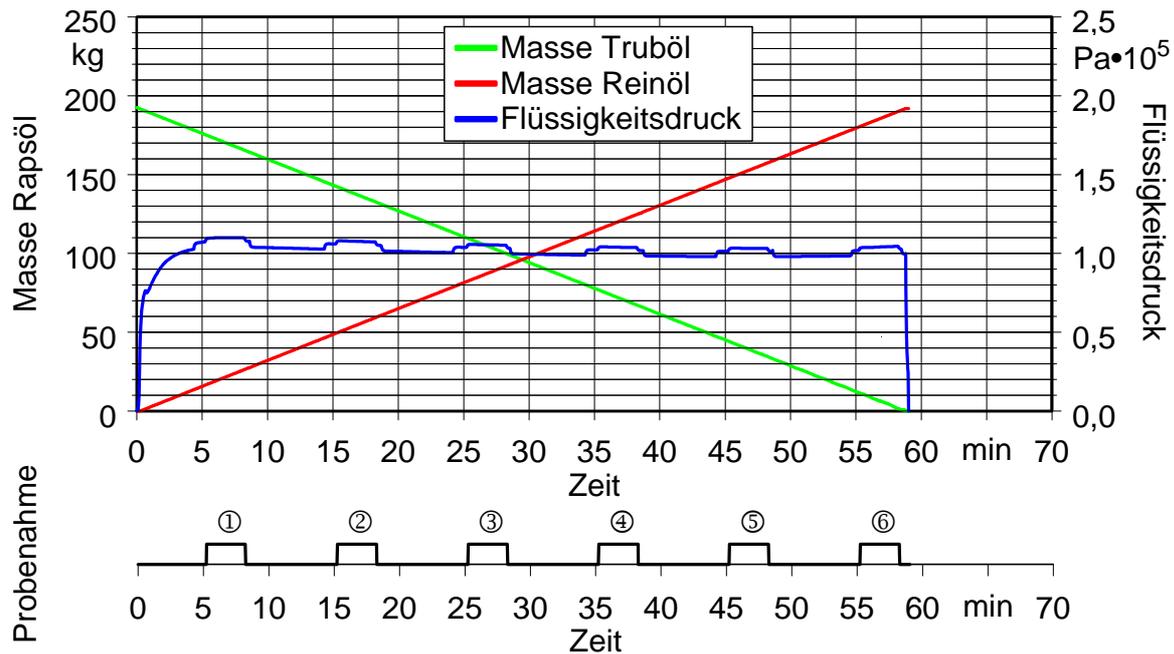
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	8	
Masse Trüböl gesamt	170	kg
Masse Reinöl gesamt	161	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,1	kg/min
Druck am Filter max.	1,05	bar

Anmerkungen:

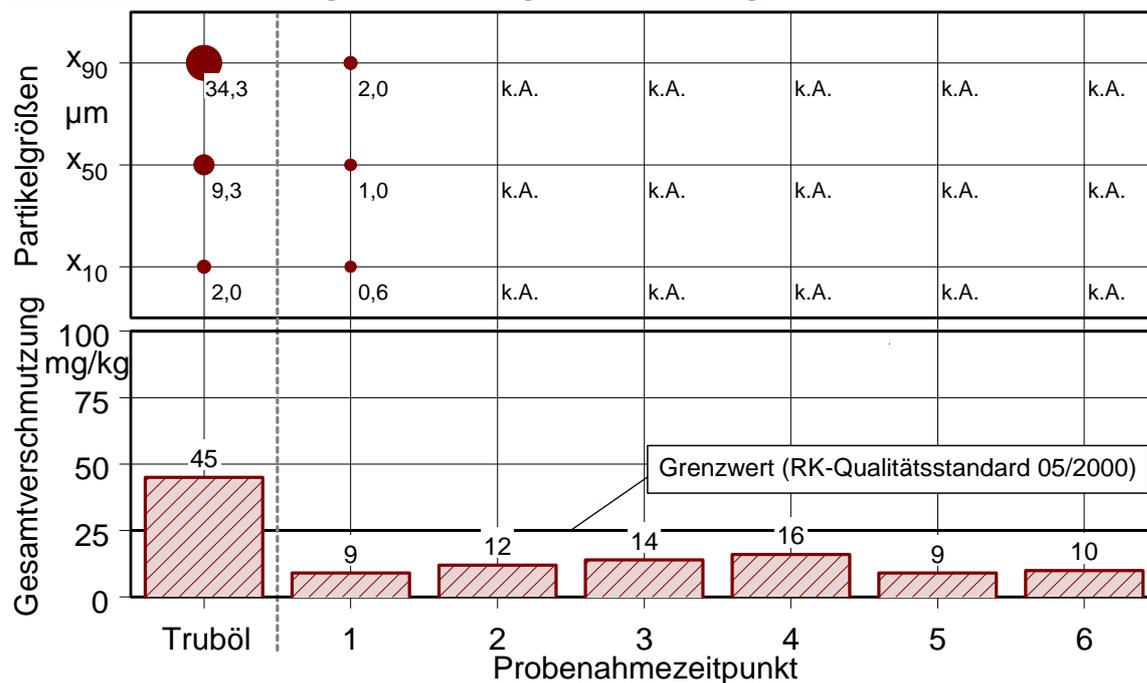
Probenahme 1-5 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 45

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:

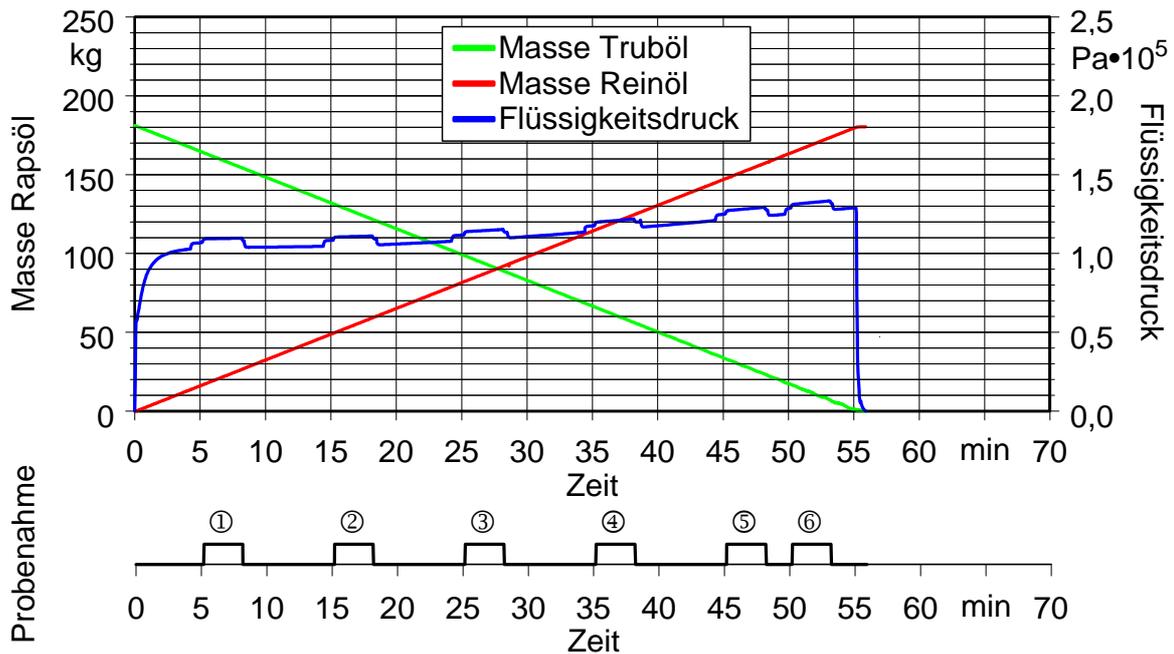
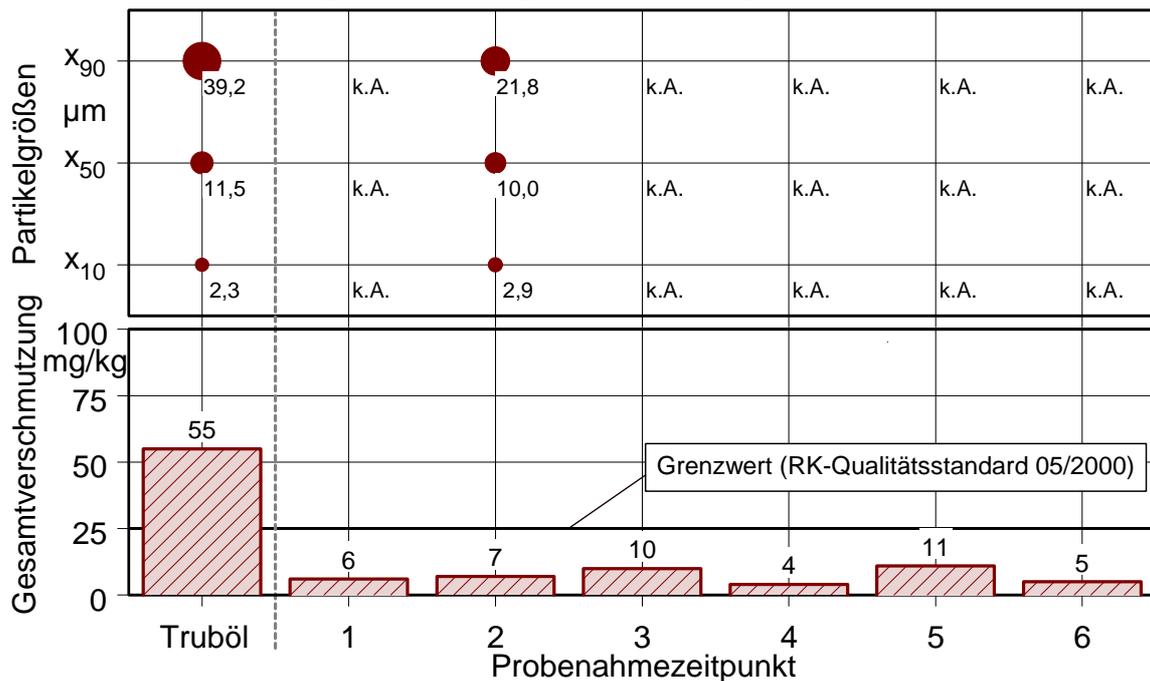


Versuchsparameter:

Filterpatrone	B 27/54	
Charge	9	
Masse Trüböl gesamt	193	kg
Masse Reinöl gesamt	192	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,3	kg/min
Druck am Filter max.	1,10	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-6 Teilstrom

Tiefenfilter - Versuch 46Filtrationsverlauf:Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:Versuchsparameter:

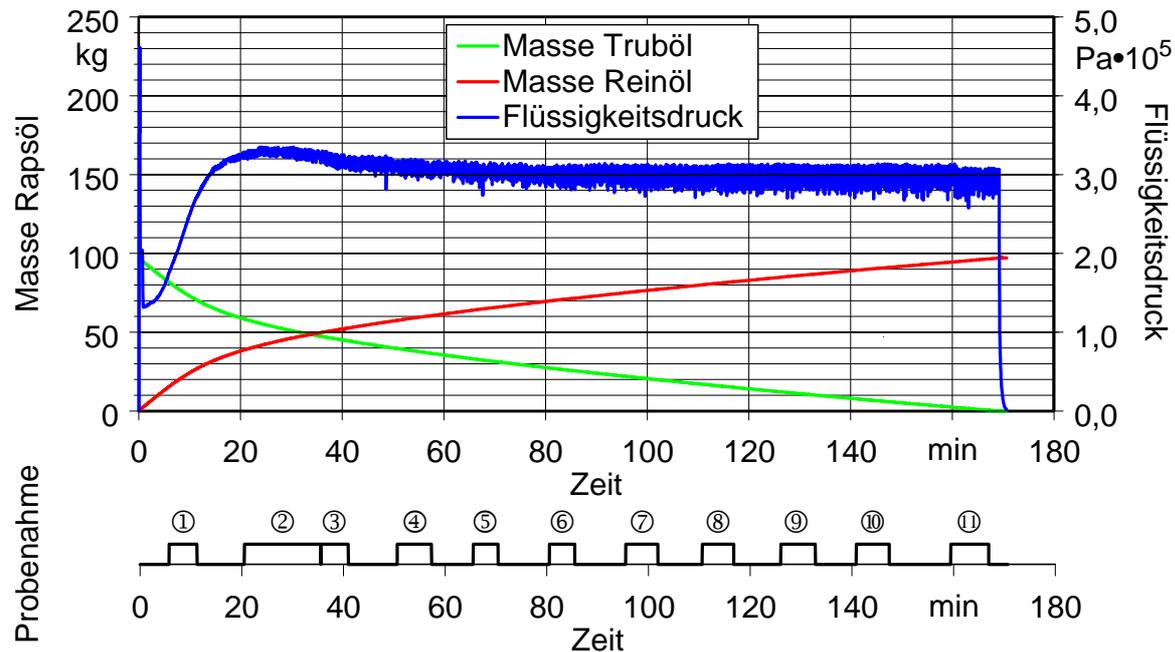
Filterpatrone	B 27/54	
Charge	10	
Masse Trüböl gesamt	182	kg
Masse Reinöl gesamt	180	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	3,2	kg/min
Druck am Filter max.	1,33	bar

Anmerkungen:

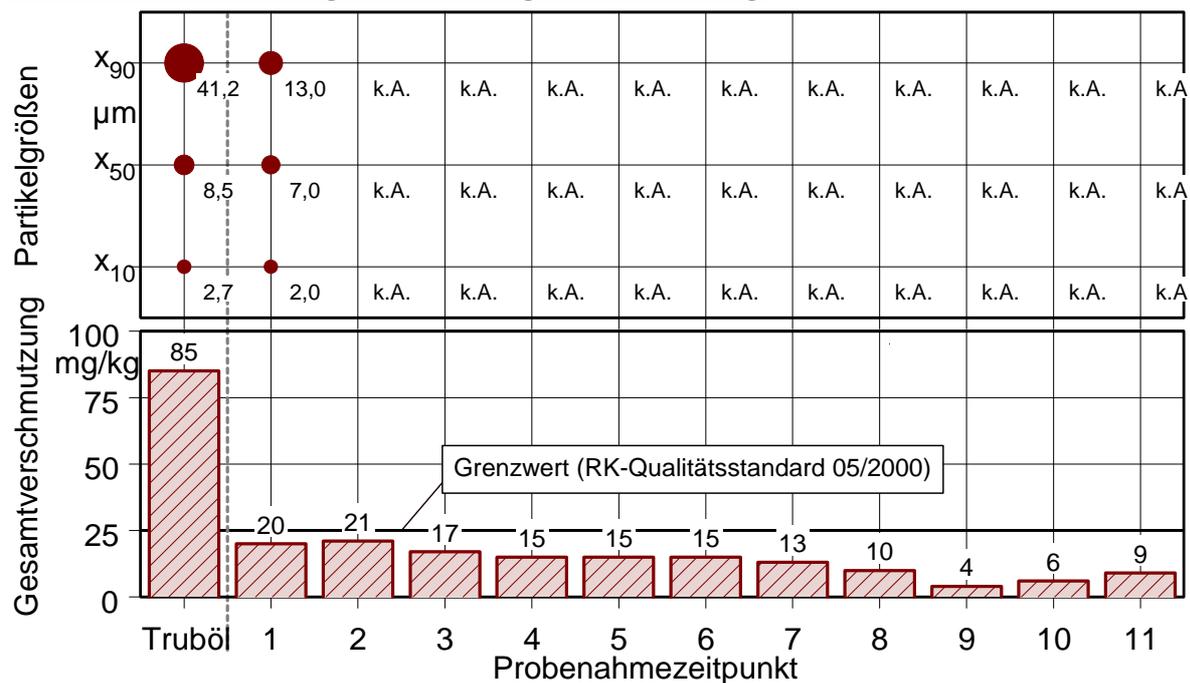
Probenahme 1-6 Teilstrom

Schichtenfilter - Versuch 47

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

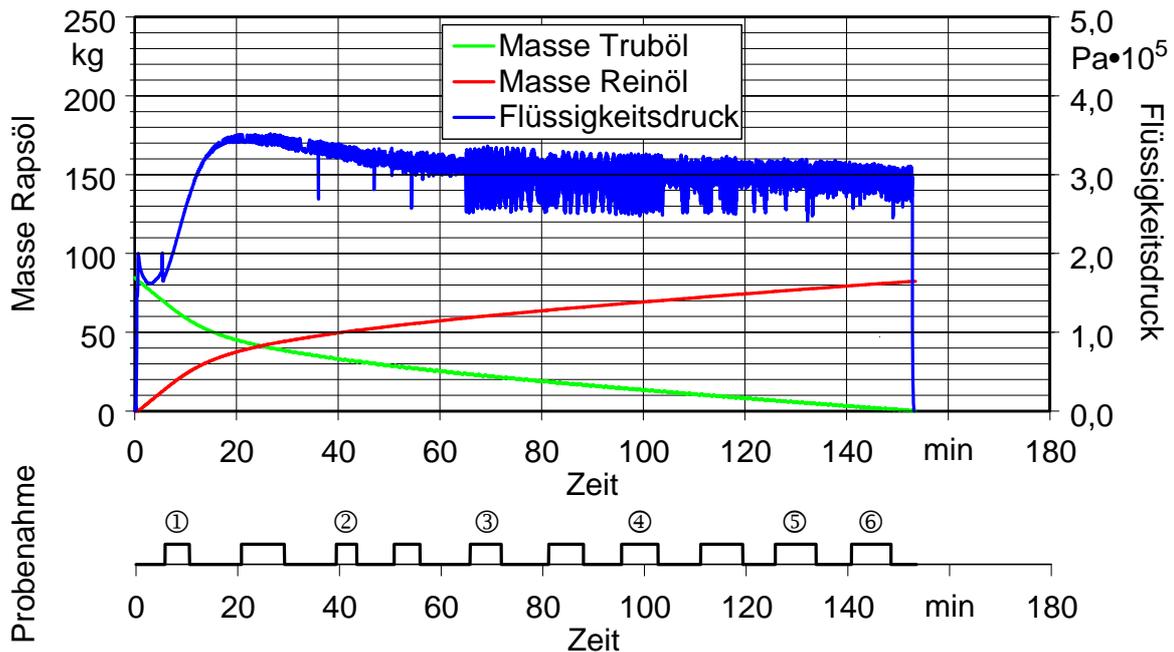
Filterschicht	HS 6000	
Masse Trüböl gesamt	99	kg
Masse Reinöl gesamt	98	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,6	kg/min
Druck am Filter max.	4,61	bar

Anmerkungen:

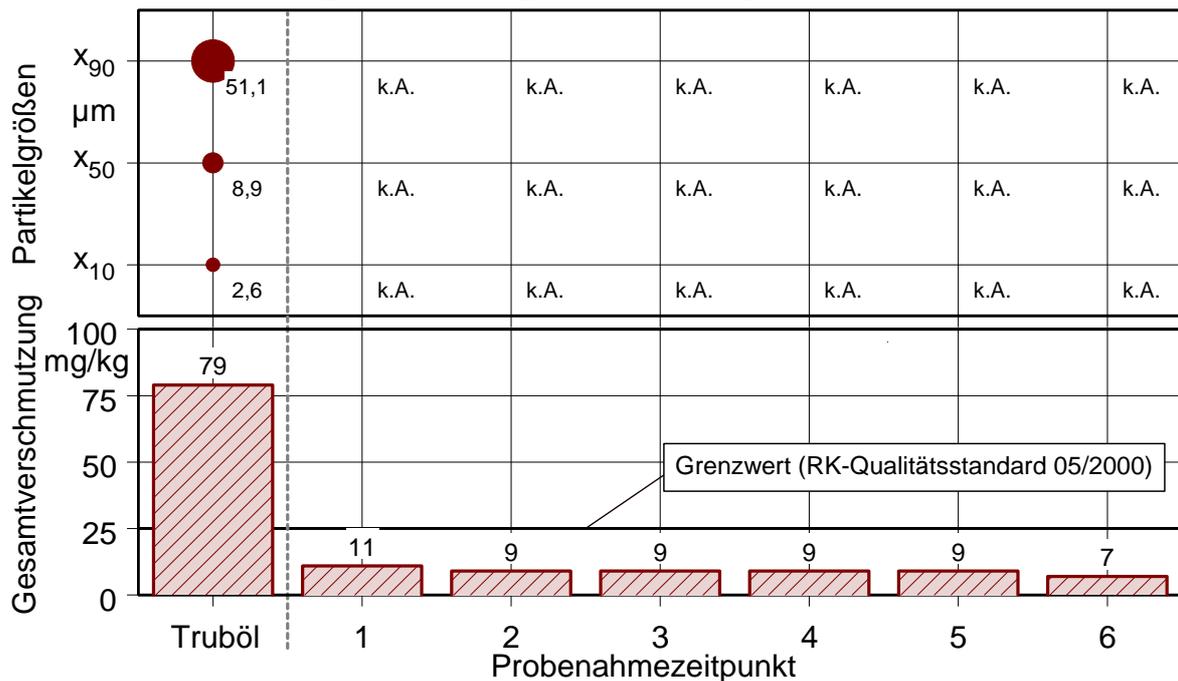
Probenahme 1-2 Teilstrom, 3-11 Hauptstrom, hohe Druckspitze zu Beginn des Versuchs durch Bedienfehler

Schichtenfilter - Versuch 48

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

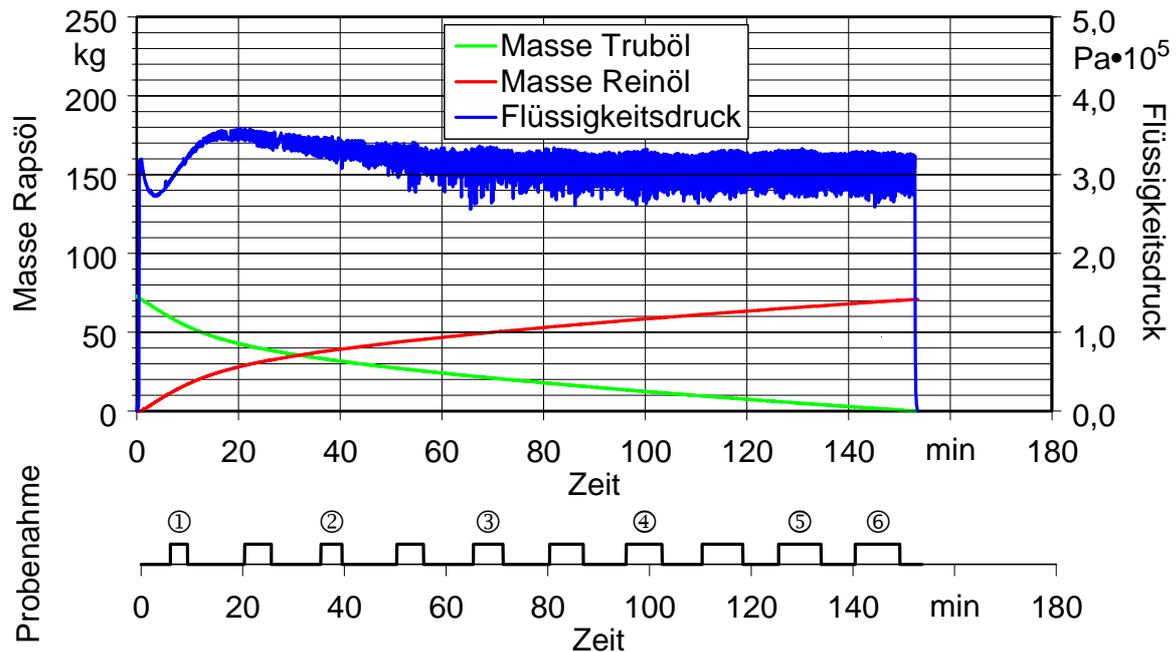
Parameters	HS 6000	
Filterschicht	HS 6000	
Masse Trüböl gesamt	85	kg
Masse Reinöl gesamt	82	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,5	kg/min
Druck am Filter max.	3,52	bar

Anmerkungen:

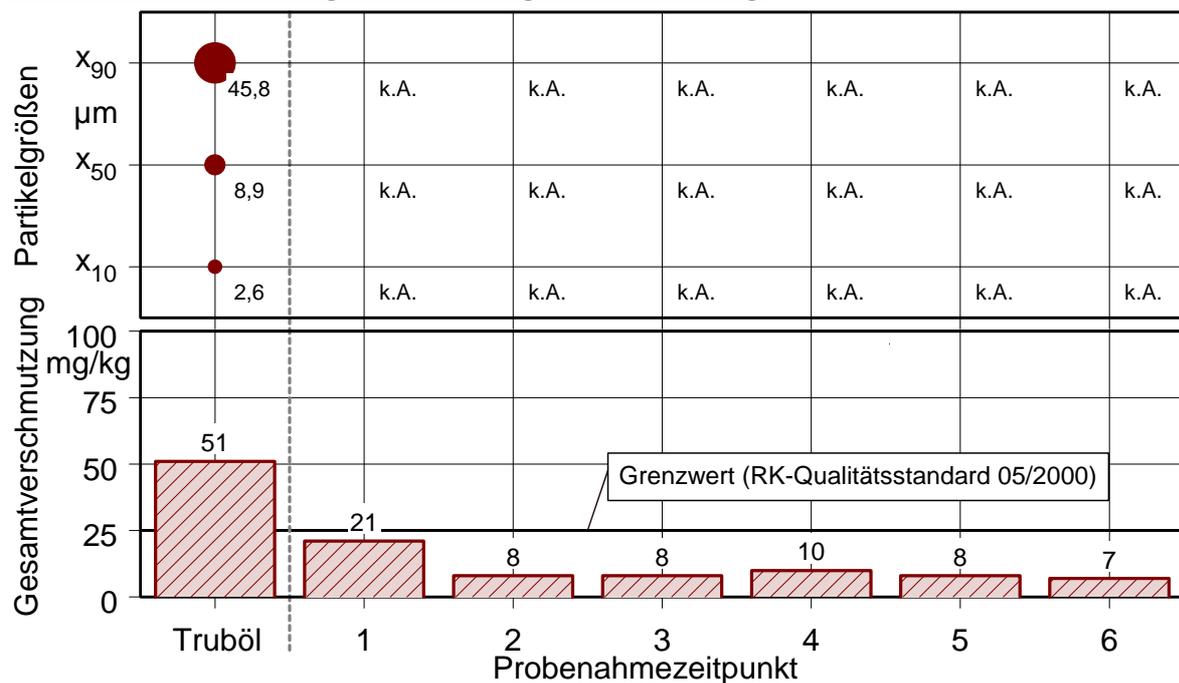
Probenahme 1 Teilstrom, 2-10 Hauptstrom

Schichtenfilter - Versuch 49

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

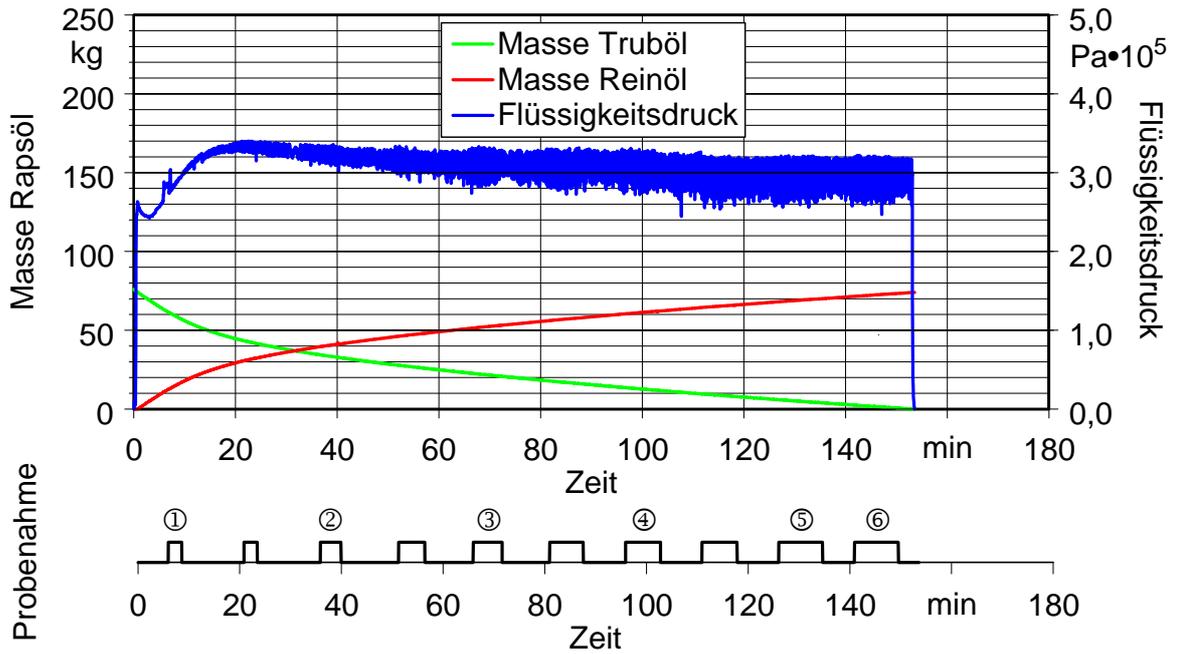
Filterschicht	HS 2000	
Masse Trüböl gesamt	73	kg
Masse Reinöl gesamt	71	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,5	kg/min
Druck am Filter max.	3,59	bar

Anmerkungen:

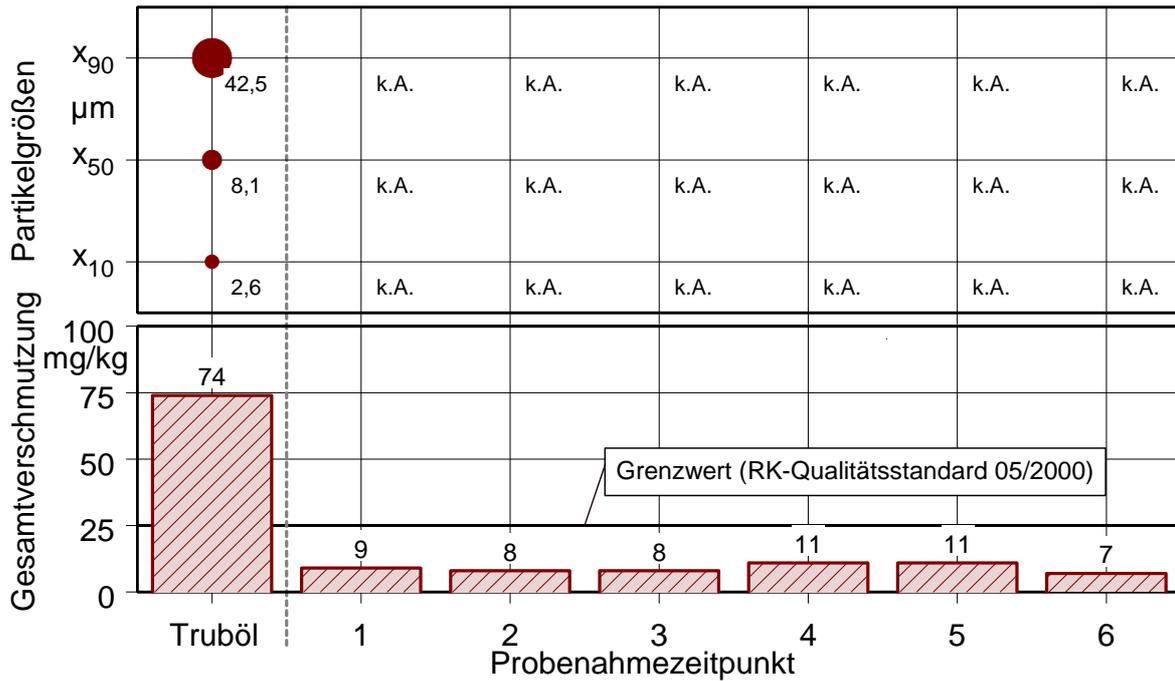
Probenahme 1-10 Hauptstrom

Schichtenfilter - Versuch 50

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

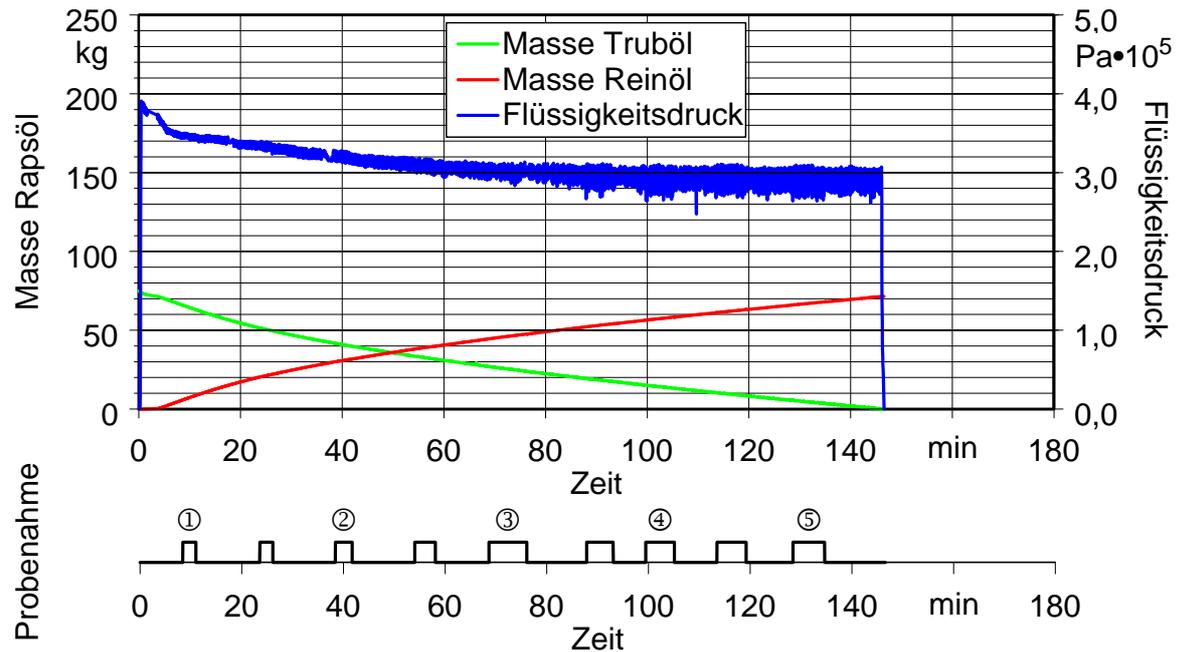
Parameters	HS 2000	
Masse Trüböl gesamt	76	kg
Masse Reinöl gesamt	74	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,5	kg/min
Druck am Filter max.	3,40	bar

Anmerkungen:

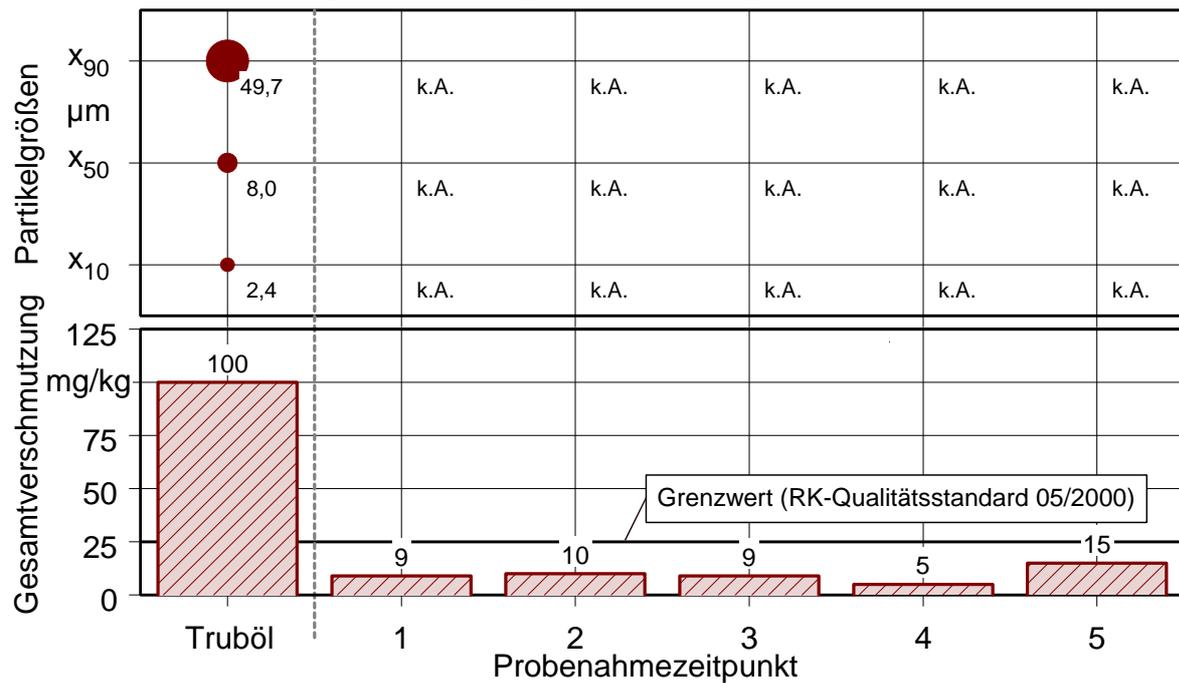
Probenahme 1-10 Hauptstrom

Schichtenfilter - Versuch 51

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

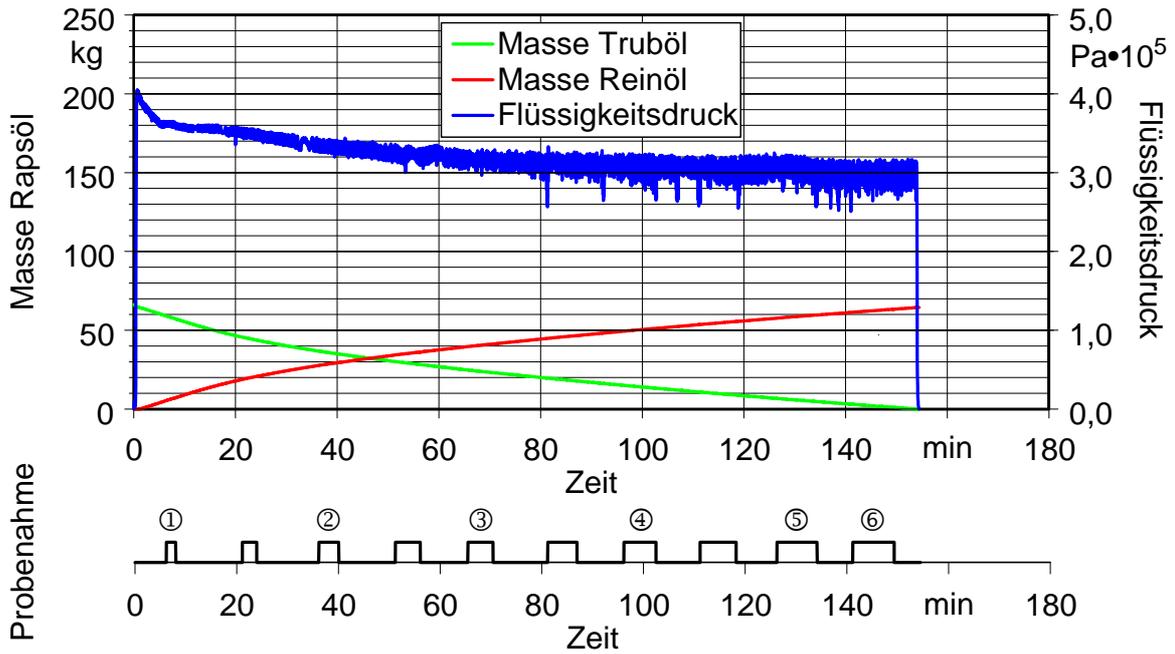
Filterschicht	HS 800	
Masse Trüböl gesamt	75	kg
Masse Reinöl gesamt	71	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,5	kg/min
Druck am Filter max.	3,91	bar

Anmerkungen:

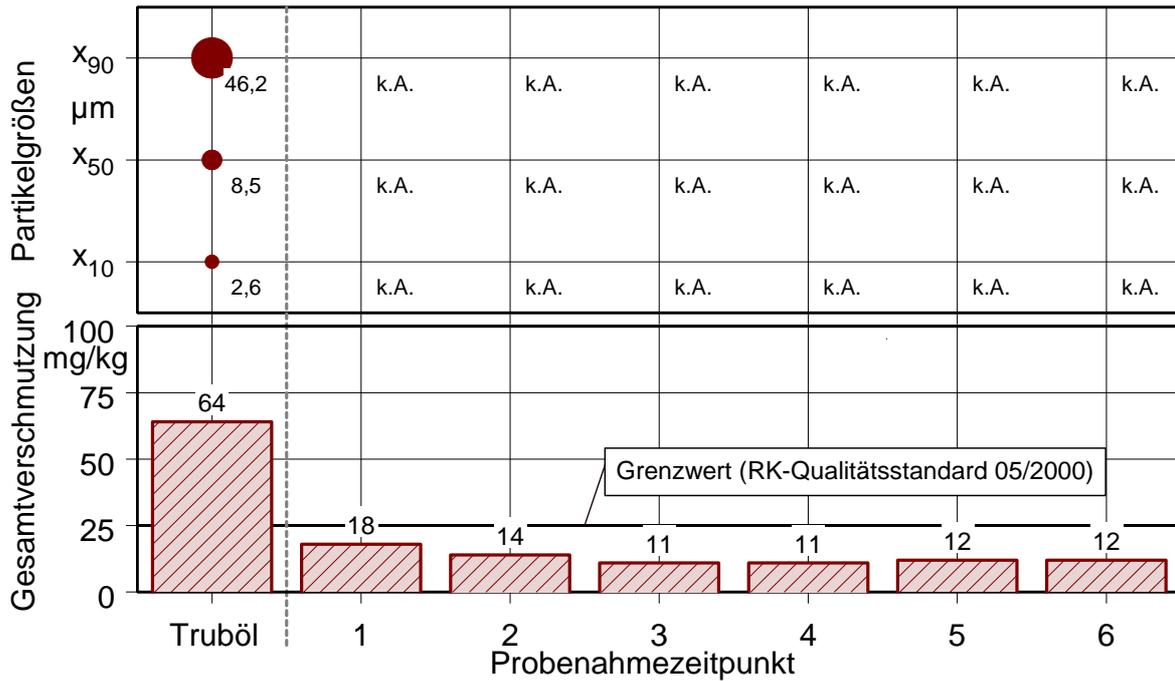
Probenahme 1 Teilstrom, 2-9 Hauptstrom, abtropfendes Öl an den Dichtflächen der Ölkanäle der Filterplatten

Schichtenfilter - Versuch 52

Filtrationsverlauf:



Gesamtverschmutzung und Partikelgrößenverteilung:



Versuchsparameter:

Parameters	HS 800	
Masse Trüböl gesamt	66	kg
Masse Reinöl gesamt	64	kg
Massenstrom Reinöl durchschnittlich	0,4	kg/min
Druck am Filter max.	4,05	bar

Anmerkungen:

Probenahme 1-10 Hauptstrom, abtropfendes Öl an den Dichtflächen der Filterplatten