

Erfahrungen mit Rapsöl als Brennstoff bei der Gebäudeheizung des LfU - Empfehlungen für Planer und Betreiber -

Inhaltsverzeichnis

- 1 Energiekonzept des LfU-Neubaus
- 2 Beschreibung der Rapsölf Feuerungsanlage im LfU
- 3 Betriebserfahrungen 1999-2000
- 4 Versuche mit Mischungen aus Rapsöl, Heizöl und RME
- 5 Erfahrungen anderer Betreiber von Rapsöl-Druckzerstäuber-Brennern in einem Leistungsbereich ≥ 370 kW
- 6 Lösungsansätze zur Behebung der im LfU aufgetretenen Betriebsstörungen bei der Verfeuerung von Rapsöl
- 7 Testbetrieb im Herbst 2001
- 8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Ausgestaltung von Rapsölf Feuerungsanlagen
- 9 Zusammenfassung
- 10 Literaturhinweise
- 11 Informationen im Internet

Die Rapsölf euerung sollte die solare Beheizung unterstützen und die benötigte Restenergiemenge erzeugen (Abb. 1).

Franz Reitberger
(Tel.: 0821/9071-5205,
franz.reitberger@lfu.bayern.de)

Die Planungsziele des beauftragten Ingenieurbüros konnten bezüglich des Energiebedarfs und des solaren Deckungsbeitrags im Praxisbetrieb des Gebäudes leider bisher nicht erreicht werden. Optimierungsmaßnahmen werden jedoch weiterhin durchgeführt. Die bisherigen Verbräuche sind jedoch um ein Vielfaches höher als geplant und Möglichkeiten einer deutlichen Reduzierung des Energiebedarfs zeichnen sich derzeit noch nicht ab. Eine nachvollziehbare Erklärung für den erhöhten Energieverbrauch durch die General- und Fachplaner wird noch erwartet.

Stefan Huber
(Tel.: 0821/9071-5066,
stefan.huber@lfu.bayern.de)

Auch der Betrieb der Rapsölf euerung war mit den vom Planer ursprünglich vorgegebenen Parametern nicht zufriedenstellend und mit andauernden Betriebsstörungen verbunden.

1 Energiekonzept des LfU-Neubaus

Ziel der Gebäude-Neubauplanung des Landesamt für Umweltschutz war es, Wärmeverluste zu reduzieren und möglichst viel Sonnenenergie zu nutzen. Es wurde angestrebt, den Heizenergiebedarf vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken.

Herz der Energieversorgung ist ein Langzeitwärmespeicher (Aquifer). Im Sommer wird Sonnenenergie darin gespeichert und im Winter zur Raumheizung entnommen. Zudem wird aus Sonnenenergie mit Hilfe einer Adsorptionskältemaschine umweltfreundlich Kälte für die Klimatisierung der Labore im Sommer erzeugt. Ein großer Teil der Warmwassererzeugung wird ebenfalls mit Sonnenenergie gedeckt.

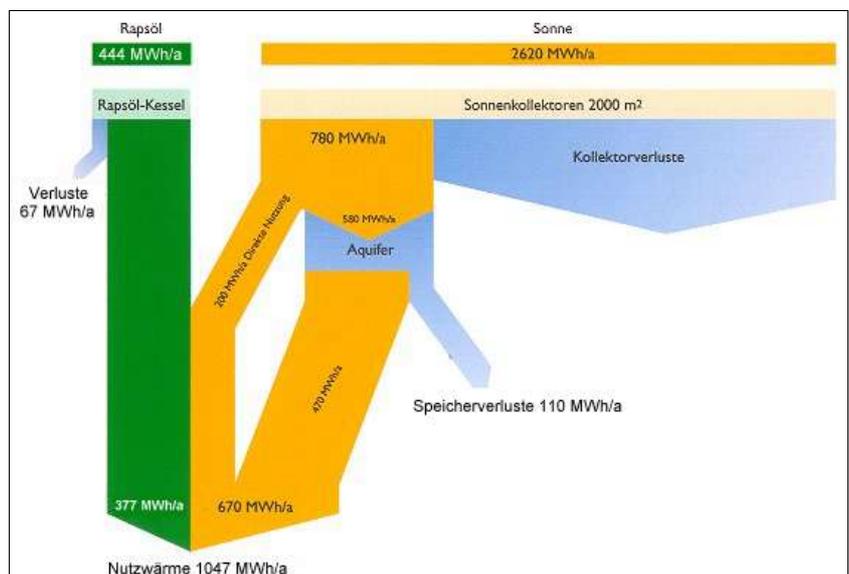


Abb. 1: Energieflussdiagramm

Nachdem die gewerkerstellende Fachfirma das Problem nicht beheben konnte und den Vorschlag unterbreitete, die Heizung stattdessen mit Heizöl EL zu betreiben, wurde das im LfU vorhandene Wissen auf diesem Gebiet aus verschiedenen Abteilungen zusammengezogen und nach Lösungsmöglichkeiten recherchiert, um das Energiekonzept nach Möglichkeit doch noch zu verwirklichen.

In einem durch das LfU durchgeführten Testbetrieb im Herbst 2001 konnte nach ausführlicher Beobachtung des Anlagenbetriebs und nach verschiedenen Versuchen die Anlage so eingestellt werden, dass ein störungsfreier Betrieb möglich wurde.

Die daraus gewonnenen Erfahrungen und das recherchierte Wissen sollen mit diesem Bericht Planern und Betreibern dieser Technik zur Verfügung gestellt werden.

Die Feuerungsanlage wurde auf die Spitzenlast von 1.720 kW ausgelegt und aus Redundanzgründen auf zwei Brenner (Weishaupt-Ölbrenner vom Typ Weishaupt Monarch RMS 7 (Mittelölbrenner) und zwei Heizkessel (Viessmann Niedertemperatur Öl-Heizkessel ; Typ: Paromat-Triplex (Dreizugkessel)) aufgeteilt. Durch dieses „doppelte System“ war es möglich die Anlage auf verschiedene Arten zu betreiben.

Beide Brenner im Rapsöl- oder Heizölbetrieb oder, wie während der späteren Testphase durchgeführt, einen Brenner im Rapsölbetrieb und den zweiten Brenner als Reservebrenner im Heizölbetrieb (Abb. 3, 4).

2 Beschreibung der Rapsölfeuerungsanlage im LfU

Aus Gründen der Betriebssicherheit wurde die Rapsölfeuerungsanlage mit einem Rapsöltank und einem Heizöl(Reserve)-Tank ausgestattet.

Bei Problemen mit der Rapsölverfeuerung war dadurch eine Umstellung auf Heizöl EL jederzeit problemlos möglich (Abb. 2).



Abb. 3: Rapsölbrenner und -kessel in Frontalansicht

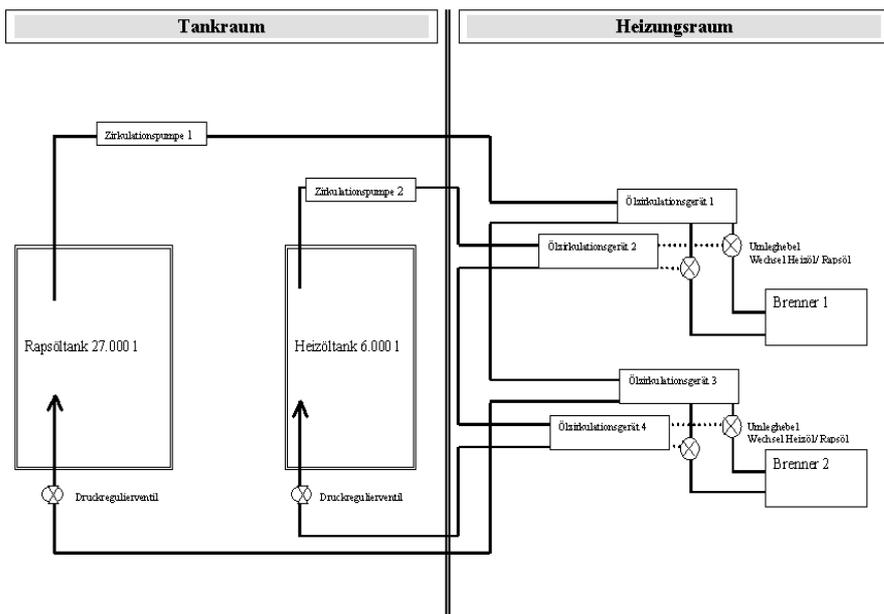


Abb. 2: Schematische Darstellung der Rapsölfeuerungsanlage



Abb. 4: Beide Kessel nebeneinander mit geöffneten Brennertüren

3 Betriebserfahrungen 1999-2000

Die Rapsölfeuerungsanlage wurde erstmals mit der Fertigstellung des Neubaus des bayerischen Landesamt für Umweltschutz im Herbst 1999 in Betrieb genommen.

Schon mit Beginn der Rapsölverfeuerung kam es alle 1-2 Tage zum Brennerausfall. Die unzureichende Betriebsweise wurde im Zeitraum vom 14.02.00 bis 31.05.00 erstmals dokumentiert.

Die Störungen traten fast täglich auf (teilweise sogar mehrmals täglich), dann wiederum wurden mehrere Tage keine Störungen festgestellt. In dem angegebenen Zeitraum kam es an beiden Brennern insgesamt zu 67 Störungen.

Der Fachplaner konnten die Störungen nicht beheben. Die Heizungsbaufirma wies daraufhin, dass derzeit noch keine verbindlichen Normen für die Rapsölqualität vorliegen, bot aber weiterhin ihre beratende Unterstützung in dem Vorhaben an.

Aufgrund vorliegender Erfahrungen anderer Betreiber wurde im Sommer 2000 ein Feuerungsversuch mit Mischungen aus Rapsöl/Heizöl EL (75%/25%) durchgeführt, der auch sofort zu den gewünschten Verbesserungen führte.

Jedoch wurden hier (steuer)rechtliche Hemmnisse bei der Nutzung von Heizölgemischen bekannt.

Mischt man Rapsöl und Heizöl, wird das gesamte Gemisch, also auch der Rapsölanteil, mineralölsteuerpflichtig. Eine Voranfrage über die Möglichkeit einer Ausnahme genehmigung von der Besteuerung des Pflanzenölanteils in der Brennstoffmischung aus Rapsöl und Heizöl beim örtlichen Hauptzollamt wurde über die Oberfinanzdirektion an das Bundesministerium der Finanzen (BMF) zur Beurteilung weitergeleitet. Die Beurteilung dieser Frage ist derzeit noch offen (Stand Februar 2002).

Zudem wurde neben dem monetären Problem bekannt, dass ein Lieferant, der eine Rapsöl/Heizöl-Mischung z.B. in seinem Tankwagen herstellt, eine Genehmigung zur Herstellung eines Mineralöls benötigt. D.h. im LfU wäre der Einbau einer Mischvorrichtung zur Herstellung des Brennstoffgemisches im Brennstofftank erforderlich geworden, da der Lieferant keine Genehmigung hatte, diese Mischung herzustellen, der Endverbraucher (LfU) jedoch solche Mischungen offensichtlich genehmigungsfrei herstellen darf.

Um die genannten Probleme zu umgehen, wurde in einem weiteren Mischungsversuch der Heizölanteil durch RME (Rapsölmethylester, Biodiesel) ersetzt, das als pflanzlicher Brennstoff mineralölsteuerbefreit ist.

4 Versuche mit Mischungen aus Rapsöl, Heizöl und RME

Im Oktober 2001 wurde der Haupttank der Feuerungsanlage mit einer Mischung aus Rapsöl (ca. 75 %) und RME (ca. 15 %) befüllt. In der Mischung war noch ein Anteil von Heizöl (ca. 10%) aus der vorangegangenen Mischung enthalten.

Zirka eine Woche nach der Befüllung der Anlage kam es unerwartet zu einem Ausfall der Feuerungsanlage. Offensichtlich war es im Tank zu einer Reaktion der unterschiedlichen Brennstoffe gekommen, die zur Bildung eines Niederschlags führte, der dann die Störungen an der Feuerungsanlage bedingte.

Um Hinweise über die Art der Reaktion zu bekommen wurden Proben aus dem Tank gezogen und umfangreiche Analysen vom LfU-Zentrallabor durchgeführt und beauftragt. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

Es wurden 3 Proben aus dem Brennstofftank in unterschiedlichen Tiefen (oben, mitte, unten) gezogen. Bereits der optische Vergleich zeigte eine deutliche Schichtung (Abb. 5).



Abb. 5: Brennstoffproben des Gemisches aus Rapsöl, RME und Heizöl gezogen aus einer oberen, mittleren und unteren Schicht im Brennstofftank

Die Analyse der Schichtproben durch das LfU mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und eines externen Analyse-Labors führten zu folgenden Ergebnissen (Tab. 1):

Tab. 1: Analyseergebnisse der Brennstoffproben aus verschiedenen Schichten

Prüfparameter	Tankproben			Grenzwerte nach RK-Qualitätsstandard
	Tank oben	Tank mitte	Tank unten	
Kin. Viskosität bei 40 °C [mm ² /s]	18,77	18,75	19,2	38
Koksrückstand [Gew.-%]	0,24	0,24	0,23	0.4
Wassergehalt [mg/kg]	978	990	1410	750
Gesamtverschmutzung [mg/kg]	44	57	158	25
Oxidationsstabilität [h] 1. Tag	8,35	8,46	8,39	5
Neutralisationszahl [mg KOH/g]	1,745	1,745	4,358	2
Fe [mg/kg]	< 1,5	< 1,5	2	--
K [mg/kg]	< 5	< 5	11,4	--
P [mg/kg]	< 5	< 5	32,3	--
S [mg/kg]	189,3	190,8	156,1	--

Verglichen mit den Grenzwerten des Qualitätsstandards für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard des LTV-Arbeitskreises Dezentrale Pflanzenölgewinnung, Weihenstephan 05/2000), zeigten sich in allen Schichten deutliche Überschreitungen bei der Gesamtverschmutzung und beim Wassergehalt. In der Tankprobe „unten“ war zudem eine deutliche Überschreitung der Neutralisationszahl festzustellen.

Die ermittelten Wassergehalte in den unterschiedlichen Schichten deuteten auf eine Gradientenverteilung des Wassers hin, wobei die höheren Mengen Wasser im unteren Bereich des Tanks anzutreffen waren. Der Grund hierfür könnte sein, dass Rapsöl wesentlich besser mit Heizöl und RME mischbar ist („Gleiches löst sich in Gleichem“) und als Folge davon das Wasser „abgeschieden“ wurde. Das Wasser sammelte sich daraufhin wegen seiner höheren Dichte (1 g/cm³ im Vergleich zu 0.92 g/cm³ bei Rapsöl) am Boden des Tanks.

Auch die Gesamtverschmutzung nahm von oben nach unten deutlich zu (von 44 auf 158 mg/kg). Auch hier lag offensichtlich ein Gradient vor. Inwieweit der hierzu parallel steigende Wassergehalt mit der steigenden Gesamtverschmutzung korreliert, konnte nicht festgestellt werden. Ein Zusammenhang kann jedoch vermutet werden.

In den Proben konnten außer Schwefel (in allen drei Proben) und Eisen, Kalium sowie Phosphor („Tank unten“) keine weiteren Elemente oberhalb der Nachweisgrenzen der RFA ermittelt werden. Für die Elemente Fe, K, P, S bestehen keine Grenzwerte nach dem RK-Qualitätsstandard.

Um weitere Informationen über den Niederschlag am Tankboden zu erhalten, wurde eine weitere Probe vom Tankboden gezogen, zentrifugiert und die einzelnen Phasen analysiert (Abb. 6).



Abb. 6: Zentrifugierte Probe des Bodensatzes aus dem Brennstofftank

Die Analyse der dabei separierten drei Phasen führte zu den Ergebnissen in Tabelle 2.

Phosphor fand sich im abzentrifugierten Schwebstoff (251 mg/kg) und in der wässrigen Phase (313 mg/kg). Dieses Ergebnis könnte darauf zurückführbar sein, dass wasserlösliche Phosphorverbindungen vorhanden sind, die teilweise auch ausfallen und somit im Schwebstoff enthalten sind.

Bei dem Niederschlag dürfte es sich entweder um Phospholipide aus dem Rapsöl oder um ausgefallene Paraffine aus dem Heizöl handeln, die aufgrund unterschiedlicher Polaritäten und Mischungslücken der Brennstoffe (Heizöl EL, RME, Rapsöl) auftrafen.

Die Mehrzahl der in der Probe bestimmten Metalle fanden sich in höheren Konzentrationen hauptsächlich in der wässrigen und in der Schwebstoffphase. Dies legt die Vermutungen nahe, zumal es sich um „typische“ Legierungselemente handelt, dass die Metalle von der Tankinnenwandung mobilisiert wurden. So könnten durch Arbeiten im/am Tank während der Installation (z.B. Schweiß- oder Schneidarbeiten) Partikel auf den Boden des Tanks gelangt sein, die allmählich durch das am Boden befindliche saure Wasser aufgelöst wurden.

Eine andere Erklärung, wäre, dass die Metalle von den Ölpresen stammen und mit dem Rapsöl in den Tank eingetragen wurden.

Tab. 2: RFA-Analyse der „Bodenprobe“

Element	Einheit	Ölphase	Schwebstoff	Wasserphase
Al	mg/kg	< 100	< 100	149
Si	mg/kg	< 20	28	< 20
P	mg/kg	< 5	251	313
S	mg/kg	99.5	72.1	29.8
K	mg/kg	< 75	93	91.4
Ca	mg/kg	< 75	93.2	83.6
Mn	mg/kg	< 10	10.1	20.8
Fe	mg/kg	146.1	1612	3500
Co	mg/kg	2	5	< 2
Cu	mg/kg	1.4	2.1	2.2
Zn	mg/kg	1.2	10.65	4.9
Sn	mg/kg	0.8	2.55	0.5

Ein Versuch, in dem eine Mischung aus 50 % Rapsöl und 50 % RME sowie eine Mischung aus 80 % Rapsöl und 20 % Heizöl hergestellt wurden, ließen keine Trübungen erkennen (Abb. 7).

**Abb. 7:** Mischungsversuche aus Rapsöl und RME bzw. Rapsöl und Heizöl

Um bei einer möglichen Fortsetzung von Mischungs- und Feuerungsversuchen (mit reinen RME/Rapsöl-Mischungen) Aussagen über ein optimales Mischungsverhältnis (mit einem wegen des höheren Einkaufspreises möglichst geringen RME-Anteils) zu erhalten, wurden Mischungsreihen erstellt und analysiert (Tab. 3).

Die Zugabe von RME zeigte bereits bei geringen Anteilen im Rapsöl eine deutliche Verringerung der Viskosität. Durch die Zugabe von 15 % des niedriger viskosen RME in den Brennstofftank des

LfU (und zusätzlich rd. 10 % Heizölanteil aus der vorangegangenen Mischung) verringerte sich die Viskosität der Brennstoffmischung und damit die zur weiteren Viskositätserniedrigung erforderliche Vorwärmtemperatur bereits soweit, dass es möglich war, später noch Teile des Brennstoffgemisches bei einer deutlich reduzierten Vorwärmtemperatur von 60°C (im Gegensatz zu bei einer reinen Rapsölverfeuerung erforderlichen Vorwärmtemperatur von mindestens 86°C) zu verfeuern.

Die Mischungsreihen zeigten zudem, dass die Oxidationsstabilität der Brennstoffmischungen bei einer Zugabe von 10 % RME nach vier Tagen, bereits deutlich sinkt (Abb. 8).

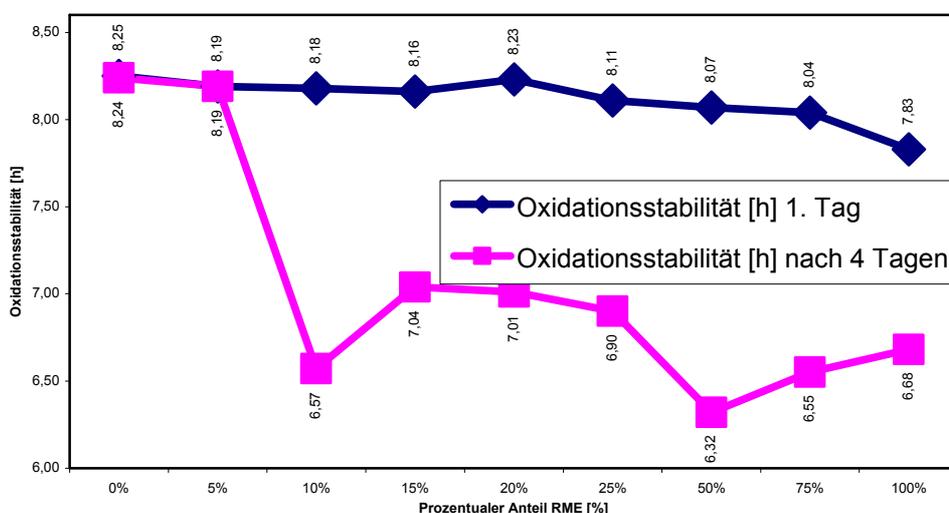
Die Oxidationsstabilität gemessen nach einem Tag und nach vier Tagen zeigte noch bei Anteilen von 0 % RME und 5 % RME im Rapsöl nahezu identische Ergebnisse.

Bei einer Zugabe von 10 % RME sank aber die nach vier Tagen gemessene Oxidationsstabilität deutlich um etwa 20 % auf 6.57 h ab. Dieser Wert blieb dann (bis zu 100 % RME) in etwa konstant.

Dieses Ergebnis könnte auf eine mangelhafte Lagerstabilität von Rapsöl/RME-Gemischen deuten und sollte vertiefend mit weiteren Laboranalysen betrachtet werden.

Tab. 3: Analyseergebnisse verschiedenen Mischungsreihen aus Rapsöl und RME.

Prüfparameter	RME (Rapsölmethylester) Anteil in Rapsöl								
	0%	5%	10%	15%	20%	25%	50%	75%	100%
Kin. Viskosität bei 40 °C [mm ² /s]	34.55	30.55	27.19	24.07	21.79	19.81	12.85	7.74	4.69
Koksrückstand [Gew.-%]	0.25	0.3	0.24	0.25	0.24	0.2	0.15	0.1	0.02
Wassergehalt [mg/kg]	718	n.b.	177						
Gesamtverschmutzung [mg/kg]	210	n.b.	40						
Oxidationsstabilität [h] 1. Tag	8.25	8.19	8.18	8.16	8.23	8.11	8.07	8.04	7.83
Oxidationsstabilität [h] nach 4 d	8.24	8.19	6.57	7.04	7.01	6.9	6.32	6.55	6.68
Neutralisationszahl [mg KOH/g]	2.527	2.396	2.272	2.191	2.121	2.041	1.593	1.176	0.685

**Abb. 8:** Oxidationsstabilität der Mischungen nach einem und nach vier Tagen in Abhängigkeit von dem RME-Anteil in der Rapsöl/RME-Brennstoffmischung

Während nach der Ursache der aufgetretenen Störung beim Rapsöleinsatz gesucht wurde, konnte der Heizungsbetrieb der Feuerungsanlage im LfU über den mit Heizöl EL befüllten Reservetank aufrecht erhalten werden. Nach einigen Tagen „Wartezeit“ setzten sich die vorhandenen Schwebeteilchen im Rapsöl-Brennstofftank offensichtlich weiter ab.

Der beauftragten Heizungsfirma gelang es dann, durch starke Erhöhung des Drucks in der Brennstoffförderleitung (von 0,8 bar auf 4 bar), den Betrieb der Anlage vorübergehend wieder zu ermöglichen. Der größte Teil der Brennstoffmischung konnte daraufhin störungsfrei verfeuert werden. Nach weitgehender Entleerung des Tanks trat dann wieder eine Störung auf. Die stark verschmutzte Restmenge musste entsorgt und der Tank anschließend gereinigt werden.

Aufgrund der beginnenden Heizperiode (Oktober 2000) wurde beschlossen, vorerst keine weiteren Versuche durchzuführen und den Betrieb auf Heizöl EL umzustellen, um die Versorgungssicherheit des Gebäudes zu

garantieren. Zwischenzeitlich sollte nach Konzepten zur Behebung der auftretenden Störungen gesucht werden.

5 Erfahrungen anderer Betreiber von Rapsöl-Druckzerstäuber-Brennern in einem Leistungsbereich ≥ 370 kW

Bisherige Erfahrungen mit der Verfeuerung von Rapsöl in einem mit der Anlage des LfU vergleichbaren Leistungsbereich wurden bei vier Feuerungsanlagen-Betreibern recherchiert.

Der „**Betreiber A**“ verfeuert seit 1997 nahezu störungsfrei Rapsöl. Es kommen drei Weishaupt Brenner RGMS 40/2-A je 2,5 MW sowie Viessmann Turbomat L Kessel zur Anwendung.

Aus wirtschaftlichen Erwägungen wurde damals nach einer Möglichkeit gesucht, die Spitzenlast beim Gasbezug an den kältesten Tagen im Jahr zu reduzieren. Der Brennstoff Rapsöl wurde gewählt, da er die Wassergefährdungsklasse 0 aufwies und sich die Feuerungsanlage in einer Wasserschutzzone befindet. Die Anlage ist so geregelt, dass ein Brenner bevorzugt läuft und bei Bedarf ein zweiter dazu geregelt wird. Diese Nutzungsweise wurde gewählt, weil ursprünglich davon ausgegangen wurde, dass das Takten (An- und Abschaltvorgänge der Feuerungsanlage) die Wartungsintervalle verkürzt.

Aus den bisherigen Erfahrungen (Beobachtung des zweiten Brenners, der in einer Größenordnung von rd. 10 mal am Tag taktet), konnte diese Vermutung nicht bestätigt werden.

Ebenso haben offensichtlich längere Stillstandszeiten keine negativen Auswirkungen. Während einer Besichtigung des Kesselhauses wurde ein Kessel zugeschaltet, der das letzte Mal vor drei Monaten betrieben wurde. Der Brenner lief problemlos an. Die Vorwärmtemperatur des Rapsöls betrug dabei 80°C.

Im bisherigen Betrieb kam es nach Aussage des Betreibers kaum zu Störungen. Die Anlage wurde drei Jahre nicht gereinigt, um Aussagen über den Rapsölbetrieb treffen zu können. Es war rauchgasseitig ein feiner weißer Belag festzustellen, der sich leicht entfernen ließ. Materialermüdungen konnten vom TÜV nicht festgestellt werden. Die Personalbindung war nicht höher als bei einem Heizöl EL-Betrieb.

Beim „**Betreiber B**“ kommen ein Weisshaupt Brenner G 50 (Leistung 1750 kW) sowie ein Viessmann Kessel zur Anwendung.

Das Rapsöl wurde im Zeitraum 1995 –1998 in einem Heizwerk für ein Wohngebiet eingesetzt. Der Rapsöleinsatz wurde aber zwischenzeitlich wegen zu hoher Brennstoffkosten wieder eingestellt.

Die Betriebserfahrungen waren insgesamt positiv, wobei jedoch auch Brennerausfälle durch Verklebungen teilweise ernsthafte Probleme bereiteten. Siebe und Filter in der Ölleitung waren häufig verstopft. Weitgehende Abhilfe gegen Verklebung konnte durch die Mischung von Rapsöl mit 15% Heizöl EL erreicht werden. Ein vom Betreiber initiiertes Untersuchungsvorhaben an zwei Dutzend Heizungsanlagen in Industrie- und Gewerbebetrieben sowie in Privathaushalten im Leistungsbereich von 15 bis 2900 Kilowatt ergab, dass ein umgekehrtes Gemisch aus 85% Heizöl und 15% Rapsöl auch ohne technischen Veränderungen der Brenner problemlos verfeuert werden kann.

Beim „**Betreiber C**“ wurden ein Elco Klöckner EK 9.1000 GLR Zweistoffgebläsebrenner (Leistung 9,3 MW) sowie ein Loos Kessel verwendet.

Der Rapsöleinsatz wurde nur wochenweise erprobt und inzwischen wieder eingestellt. Für die Betriebseinstellung wurden logistische Probleme bei der Rapsölbereitstellung genannt.

Der „**Betreiber D**“ verwendet einen Weisshauptbrenner M3Z-A 370 kW Baujahr 1995 sowie einen Viessmann Paromat Duplex TR-Kessel.

Die Vorwärmtemperatur des Rapsöls während einer Anlagenbesichtigung, betrug 63-68 °C. Die Rapsölfeuerung ist in ein Energiekonzept eingebunden, das zwei Rapsöl-BHKW, eine Hackschnitzelheizung und einen Pufferspeicher umfasst. In dieser Kette hat die Rapsölfeuerung die geringste Priorität und springt nur bei Leistungsspitzen oder bei Störungen bzw. Stillständen für z.B. Wartungsarbeiten an den anderen Komponenten an.

Die Anlage ist seit November 1995 in Betrieb. Die bis April 2001 geleisteten Betriebsstunden betragen in Leistungsstufe eins 4057 Stunden und in Leistungsstufe zwei 1198 Stunden.

In den ersten Jahren gab es erhebliche Probleme mit verschmutzten Düsen (gallertartige Ablagerungen) und verschmutzten Stauscheiben. Die Anlage wurde dann regelmäßig gereinigt und die Düsen (einfaches Fabrikat ohne Düsennadel) ausgewechselt. Während der Heizsaison 2000/2001 musste der Düsensatz noch 5 mal ausgewechselt werden (vermutlich verkleben die Düsen durch nach dem Feuerungszyklus austretendes Öl). Die Stauscheibe wird jeweils nach rd. 200 Betriebsstunden mit einer Messingbürste gereinigt und die Schlitze in der Stauscheibe mit einem Stechbeutel nachgefahren.

Nach Auskunft der Betreiber erhöht sich der Gegendruck bei zunehmender Verschmutzung der Stauscheibe (dies kann bereits zum Abschalten führen). Ebenso wird weniger Licht von der Flamme zur Fotozelle durchgelassen, was ebenfalls zu einem Abschalten der Anlage führt.

Sonst gab es kaum noch Probleme an der Anlage, wobei die Maßnahmen die zur Verbesserung des Betriebsverhaltens geführt hatten, nicht genannt werden konnten. Die Personalbindung für den Brenner beträgt pro Jahr maximal 4-5 Stunden.

Schlechte Erfahrungen wurden nach der Anlieferung einer Charge offensichtlich verschmutzten Rapsöls gemacht. Der gesamte Brennstofftank musste geleert und gereinigt und die Leitungen gespült werden.

6 Lösungsansätze zur Behebung der im LfU aufgetretenen Betriebsstörungen bei der Verfeuerung von Rapsöl

Aufgrund der guten Erfahrungen anderer Betreiber bei der Rapsölverfeuerung, insbesondere an der Anlage des „**Betreibers A**“, wurde angestrebt, einen störungsfreien Betrieb auch an der Anlage des LfU zu realisieren. Jedoch konnte der Hersteller des vom Fachplaner für die Feuerungsanlage im LfU gewählten Brenners keine Lösung für die auftretenden Betriebsstörungen bieten.

Da der Wunsch bestand, die Rapsölfeuerung nach Möglichkeit mit reinem Rapsöl zu betreiben (d.h. ohne Heizöl bzw. RME - Zumischung), wurde daher nach alternativen Rapsölfeuerungsanlagen-Anbietern mit geeigneten Brennertechnologien recherchiert.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über derzeit bekannte Anbieter dieser Technologie. Die Daten stammen dabei aus Internet Recherchen, Herstellerbefragungen und Fachmes-

Alternative Rapsölbrenner-Hersteller (Firmenliste Rapsölfeuerungen)

Die Recherche zeigte, dass die meisten angebotenen Rapsölfeuerungsanlagen für den kleineren Leistungsbereich im Wohngebäudebereich angeboten werden. Zum Zeitpunkt der ersten Recherche war für den Leistungsbereich der Feuerungsanlage des LfU (2 x 850 kW) nur ein weiterer Brennerhersteller, der die sogenannte Drehzerstäubertechnik anwendet, bekannt. In einer Referenzliste konnte diese Firma weltweit (vorwiegend in England und Irland) 26 Referenzanlagen aus der Tierfett-/Restaurantfett-Verbrennung vorweisen. Eine weitere Anlage läuft im Reichstagsgebäude in Berlin, dort allerdings mit RME.

Nach Einsichtnahme des Kessels im LfU und anschließender Durchsicht der Pläne musste die Firma ihr Angebot für einen Umbau der Anlage wieder zurückziehen. Für den Einbau des neuen Brenners wäre eine Aufmauerung im Kessel auf der Brennerseite erforderlich geworden, die die Einbauöffnung soweit verengt hätten, dass der Brenner nicht mehr angebracht hätte werden können. Nur mit einem entsprechend konstruierten Vorbau vor dem vorhandenen Kessel oder einem Austausch des Kessels wäre die Nutzung des Drehzerstäuber-Brenners möglich geworden. Aufgrund der damit verbundenen erheblichen Mehrkosten wurde diese Option aber nicht weiter verfolgt.

Tab. 4: Firmenliste-Rapsölfeuerungen (unvollständig)

Nr	Firma	Ansprechpartner	Anschrift	Tel.	Internet	Leistung
1	Bayerische Ray Energietechnik GmbH & CoKG	Herr Sebastian Wirth	Dieselstrasse 5 85738 Garching	089 / 32900470	www.bayray.de/	ab ca. 750 kW (Drehzerstäuber)
2	Clean Burn Trading AB	Herr Bo Augustsson	Nordstangsv. 9 42363 Torslanda (Schweden)	0046 / 317760480	www.cleanburn.nu/	35-50 kW
3	DYMA & DANHEAT A/S	Herr Kurt Koch (spricht deutsch)	Niels Ebbesensvej 9, DK-7500 Holstebro	0045 / 97423099	www.oilpress.com/danheat.htm	23 - 1395 kW
4	ECO Energiesysteme	Herr Blattner	Siedlungsweg 32 88457 Kirchdorf a. d. Iller	08395 / 93043	www.energieconcepte.de/	Vertrieb von NET in D und angepasste Drehzerstäuber aus Italien bis 3 MW
5	H. Siegmann Elektronik	Herr Siegmann	Arnold-Sommerfeld-Ring 14a 52499 Baesweiler	02401 / 9166-0	www.siegmann.net/	bis 35 (55) kW
6	Inno-Tech		Obere Brücke 1 96515 Sonneberg	03675 / 807639	www.it-ag.de/	bis ca. 350 kW (vor, ab Ende 2002 bis 500 kW)
7	Kroll GmbH	Herr Vogt Herr Heinrich	Pfarrgartenstrasse 46 71737 Kirchberg (Murr)	07144 / 8300	www.kroll.de/	bis ca. 200 kW
8	NET Neue Energie Technik GmbH	Herr Schweighofer	Moosstrasse 195 A-5020 Salzburg 1	0662 / 828729	www.sbgenergy.net/	bis ca. 200 kW
9	Ruhr Brenner GmbH		Reichhofstrasse 3 58239 Schwerte Westhofen	02304 / 68051	www.anteco.dk/ (Dänemark)	20-25 kW
10	Saacke GmbH & Co. KG	Herr Lindner	Dieselstraße 9 89160 Dornstadt (Ulm)	07348 / 98730	www.saacke.de/	ab ca. 750 kW (Drehzerstäuber)
11	Scheer Heiztechnik GmbH		Chausseestrasse 12-16 25797 Wöhren	04839 / 9050	www.scheer-heiztechnik.de/ (www.vebe.dk/)	bis ca. 60 kW
12	Solera – ökologische Heizsysteme	Herr Daniel Roos	Neustadter Str. 24 96450 Coburg	09565/513447 0160/95440166		3 - 500 kW

Über das Betriebsverhalten (Funktionstüchtigkeit) der Rapsölfeuerungen der o.g. Firmen liegen keine Erfahrungen vor.

Lösungsansätze zur Behebung der auftretenden Betriebsstörungen bei der Verfeuerung von Rapsöl

Nachdem zunächst kein weiterer Rapsölfeuerungsanlagenhersteller einen Brenner im gewünschten Leistungsbereich anbieten konnte, wurde versucht, möglichst umfassend alle weiteren zur Verfügung stehenden Lösungsmöglichkeiten, die sich aufgrund der umfangreichen Recherchen und diverser Fachgespräche ergaben, zu systematisieren und jeweils ihre Vor- und Nachteile zu beschreiben.

Die Lösungsmöglichkeiten ließen sich dabei in die 4 Gruppen einteilen:

- A. Verbesserung der bestehenden Technik und des Qualitätsmanagements
- B. Verfeuern von Brennstoffmischungen aus Pflanzenöl, RME, Antioxidantien oder von reinem RME
- C. Änderungen der Brennertechnologie
- D. Verfeuern von Brennstoffmischungen aus Pflanzenöl und Heizöl

Tab. 5: Lösungsansätze zur Behebung der auftretenden Betriebsstörungen bei der Verfeuerung von Rapsöl

Nr.	Variante	Maßnahmen	Vorteile	Nachteile
<i>A: Verbesserung der bestehenden Technik und des Qualitätsmanagements</i>				
1	Verbesserung der Technik vor dem Brenner	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffentnahmeeinrichtung (schwimmende Entnahme) • Brennstoffförderung (Sticheitungssystem) • Brennstofffilterung • Brennstoffvorwärmung 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Maßnahmen verbessern insgesamt die an der Brennerdüse anliegende Brennstoffqualität. 	
2	Verbesserung der Leistungsregelung des Kessels	<ul style="list-style-type: none"> • Eine ungenügende Leistungsregelung kann auch bei Heizölbetrieb zu erhöhtem Kesselverschleiß und zu Verschmutzungen bzw. Ablagerungen in der Feuerungsanlage führen 	<ul style="list-style-type: none"> • Führt zur Verbesserung der Haltbarkeit des Kessels (Temperaturschwankungen) • Geringere Verschmutzungen an den Düsen 	
3	Qualitätssicherung beim Rapsölbezug	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffqualitätsüberwachung (Rapsöl-Schnelltestkoffer) • Bezug nur von Ölmühlen, die bezüglich ihrer lieferbaren Ölqualität begutachtet wurden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Ölqualitäten (in Brennstoffproben wurden z.T. erhebliche Überschreitungen einiger Qualitätsparameter des RK-Qualitätsstandards festgestellt) können vermieden werden. Die verbesserte Ölqualität könnte gegebenenfalls bereits alleine die aufgetretenen Betriebsstörungen vermeiden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ständige Überwachung der Lieferungen erforderlich (Aufwand)
4	Regelmäßig Wartung: Behebung kleinerer Störungen durch den Hausmeister	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgaben der Hausmeister: <ul style="list-style-type: none"> – Kontrolle gegebenenfalls Wechsel der Düsen – Kontrolle gegebenenfalls Reinigung der Stauscheibe 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 Jahre Betriebserfahrungen eines Betreibers • Personalbindung für die beschriebenen Maßnahmen relativ gering (nach vorliegenden Erfahrungen eines Betreibers max. 5 h pro Jahr). 	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlicher Arbeitsaufwand: <ul style="list-style-type: none"> – zum Wechsel der Düsen (pro Brenner rd. 15 Minuten) und – zur Reinigung der Stauscheibe (rd. 20 Minuten) • Zusätzliche Materialkosten für Ersatzdüsen

Nr.	Variante	Maßnahmen	Vorteile	Nachteile
B: Verfeuern von Brennstoffmischungen aus Pflanzenöl, RME, Antioxidantien oder von reinem RME				
5	Mischungen aus <ul style="list-style-type: none"> • RME • Pflanzenöl und • (Antioxidantien) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung der Brennstoffmischungen vom Lieferanten • oder/und Einbau eines Mischsystems. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Viskosität und Oxidationsstabilität gegen über reinem Rapsöleinsatz • weitgehend regenerativ • Eine Verbrennung erscheint aufgrund der vorliegenden Erfahrung bei der Verfeuerung eines Brennstoffgemisches aus Rapsöl, Heizöl und RME an der Rapsölf Feuerungsanlage im LfU möglich. • Die Zugabe von Antioxidationsmittel in RME wird bereits teilweise praktiziert. Eventuell reicht es zur Stabilisierung der Mischung aus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Für Praxisuntersuchungen müssten entsprechende Einrichtungen geschaffen werden • Auftreten von Ausfällungen bei einem Mischungsversuch aus RME und Rapsöl in dem noch Anteile von Heizöl enthalten waren (Ursache beruht nach Expertenmeinungen auf dem Heizölanteil oder auf schlechter Rapsölqualität (Phospholipide). (Negative Auswirkungen sind event. bei Mischungen mit guten Rapsölqualitäten ohne Heizölzugabe nicht zu erwarten, müssten jedoch erst untersucht werden)
6	Mischungen aus <ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenöl und • Additiven (beinhaltet Antioxidantien) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung der Brennstoffmischungen vom Lieferanten • oder/und Einbau eines Mischsystems. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Brennstoffqualität 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Viskositätserniedrigung wie z.B. bei der Zugabe von RME oder Heizöl zum Pflanzenöl
7	Verfeuerung von reinem RME		<ul style="list-style-type: none"> • Gute Erfahrungen im Reichstagsgebäude bei der Verfeuerung von RME in einem Drehzerstäuber. 	<ul style="list-style-type: none"> • höherer Preis für RME gegenüber Pflanzenöl
C: Änderungen der Brennertechnologie				
8	Verbrennungszyklus Heizöl-Rapsöl-Heizöl	<ul style="list-style-type: none"> • Umbau der Anlage, so dass ein „fliegender Brennstoffwechsel“ möglich ist. 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Verklebungen der Düsen durch einen verbleibenden Rapsölrest möglich. • Event. günstigere Verbrennungseigenschaften während der Warmlaufphase des Brenners. • Bewährte Technik bei der Nutzung von Rapsöl im KfZ-Bereich und früher im Bereich der Schwerölverfeuerung 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht geklärt ob es zu Verpuffungen kommen kann (Zweifel des Brennerherstellers) • hoher regelungstechnischer Aufwand • führt zu einem gleichzeitigen Entleeren beider Tanks
9	Spülung der Brennerdüsen mit Druckluft		<ul style="list-style-type: none"> • keine Verklebungen der Düsen durch einen verbleibenden Rapsölrest möglich. • voraussichtlich relativ geringer finanzieller Aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • Die vorhandenen Brenner verlieren ihre Musterzulassung. • Die Brenner müssten durch den TÜV neu abgenommen werden
10	Verwendung der Drehzerstäuber-Technologie		<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungen aus dem Betrieb von 26 Referenzanlagen eines Drehzerstäuber-Herstellers bei der Tierfett/ Restaurantfettverbrennung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachrüstung vorhandener Kessel nicht unbedingt möglich • Sehr hohe Umbaukosten

Nr.	Variante	Maßnahmen	Vorteile	Nachteile
D: Verfeuern von Brennstoffmischungen aus Pflanzenöl und Heizöl				
11	Mischungen aus <ul style="list-style-type: none"> • Heizöl und • Rapsöl Variante: hydraulische Rührereinrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Heizöl EL und Rapsöl werden nacheinander in einen Brennstofftank gegeben. • Der Tankinhalt wird über Leistungsstarke Pumpen entnommen und an der, der Absaugung gegenüberliegenden Seite parallel zur Tankwand wieder zurückgeführt. Dadurch kommt es zu einer kreisenden Bewegung im Tank, die zu einer vollständigen Vermischung führt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Erfahrungen bei der Verfeuerung von Heizöl/Rapsölmischungen • Geringer Platzbedarf • Führt <u>nicht</u> zu einem gleichzeitigen Entleeren beider Tanks. • Kann in Kombination mit einem Filter auch als Tankreinigungssystem verwendet werden und verlängert somit die durch den hohen Brennstoffumsatz bedingten kurzen Tankreinigungsintervalle 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht vollständig regenerativ • Wegen der Aufwirbelung von Ablagerungen im Tank, nur in Kombination mit einer schwimmenden Absaugung und einem Filtersystem ratsam • Steuerrechtliche Frage noch offen
12	Mischungen aus <ul style="list-style-type: none"> • Heizöl und • Rapsöl Variante: Tagestank	<ul style="list-style-type: none"> • Installation eines Tagesmischbehälters im Brennstoffkeller • Über Dosierpumpen wird ein Tagesmischbehälter gefüllt, aus dem die Brennstoffentnahme für die Feuerungsanlage erfolgt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Erfahrungen bei der Verfeuerung von Heizöl/Rapsölmischungen • Der Tagestank kann zur Erprobung anderer Brennstoffmischungen genutzt werden (z.B. Bestimmung eines opt. Mischungsverhältnisses bzw. Mischungen mit reinem Pflanzenöl oder RME). 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht vollständig regenerativ • führt zu einem gleichzeitigen Entleeren beider Tanks (Achten auf ausreichende Reserve bis zur Brennstoffnachlieferung) • Steuerrechtliche Frage noch offen
13	Mischungen aus <ul style="list-style-type: none"> • Heizöl und • Rapsöl Variante: statische Mischstrecke	<ul style="list-style-type: none"> • Dosiervorrichtung: Über Dosierpumpen und eine statische Mischstrecke wird ein definiertes Brennstoffgemisch zum Brenner gefördert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Erfahrungen bei der Verfeuerung von Heizöl/Rapsölmischungen • geringer zusätzlicher Platzbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • nicht vollständig regenerativ • führt zu einem gleichzeitigen Entleeren beider Tanks (Achten auf ausreichende Reserve bis zur Brennstoffnachlieferung) • Steuerrechtliche Frage noch offen

Die unter D: „Verfeuern von Brennstoffmischungen aus Pflanzenöl und Heizöl“ (Nr. 11 - 13) beschriebenen verschiedenen Mischsysteme wurden diskutiert, da der Brennstofflieferant, wie bereits erwähnt, bei der Herstellung eines Gemisches aus Rapsöl und Heizöl zum Mineralölhersteller geworden wäre und hierfür eine Genehmigung benötigt hätte.

Die Herstellung einer Brennstoffmischung im Brennstoffkeller des LfU wäre dagegen (steuerpflichtig) möglich gewesen, da der Endverbraucher offensichtlich keine Genehmigung zur Herstellung der Mischung braucht.

Die Nutzung eines Rührstabes zur Vermischung der Brennstoffe wäre wegen der beengten Platzverhältnisse über dem Tank nicht möglich gewesen.

Für Interessenten, die das Verfeuern einer Brennstoffmischung erwägen, werden in nachfolgenden Abbildungen die drei im LfU diskutierten Mischverfahren beschrieben.

In der Variante „hydraulische Rührereinrichtung“ werden die Brennstoffe Rapsöl und Heizöl EL nacheinander in den Haupttank gegeben. Über eine groß dimensionierte Pumpe wird der Inhalt des Tankes so lange im Kreis gepumpt, bis eine vollständige Durchmischung der beiden Komponenten gewährleistet ist (Abb. 9)

Bei der Variante „Tagesmischbehälter“ wurde beabsichtigt, den Haupttank ausschließlich mit Rapsöl zu befüllen und den Reservetank mit Heizöl EL zu befüllen. Über Dosierpumpen wird automatisch aus jedem Tank die entsprechende Brennstoffmenge im richtigen Mischungsverhältnis in einen neu zu errichtenden Tagesmischbehälter (Volumen rd. 500 Liter) gegeben, in dem dann die Durchmischung der Brennstoffe für die Versorgung der Feuerungsanlage erfolgt (Abb. 10)

Bei der Variante „statische Mischstrecke“ wäre wie bei der Variante „Tagesmischbehälter“ der Haupttank mit Rapsöl und der Reservetank mit Heizöl EL gefüllt worden. Über entsprechende Dosierpumpen und eine statische Mischstrecke (Bereich durch den beide Brennstoffe gleichzeitig gepumpt werden und in dem es zu einer vollständigen Durchmischung kommt) werden die Brennstoffe direkt zur Feuerungsanlage gefördert. Ein Mischbehälter besteht bei dieser Variante nicht (Abb. 11).

Aus der Auflistung aller Lösungsmöglichkeiten wurde nach ausführlicher Diskussion mit möglichst einfachen Mitteln die Behebung der Betriebsstörungen durch Maßnahmen der Gruppe A: „Verbesserung der bestehenden Technik und des Qualitätsmanagements“ in einem Testbetrieb erprobt.

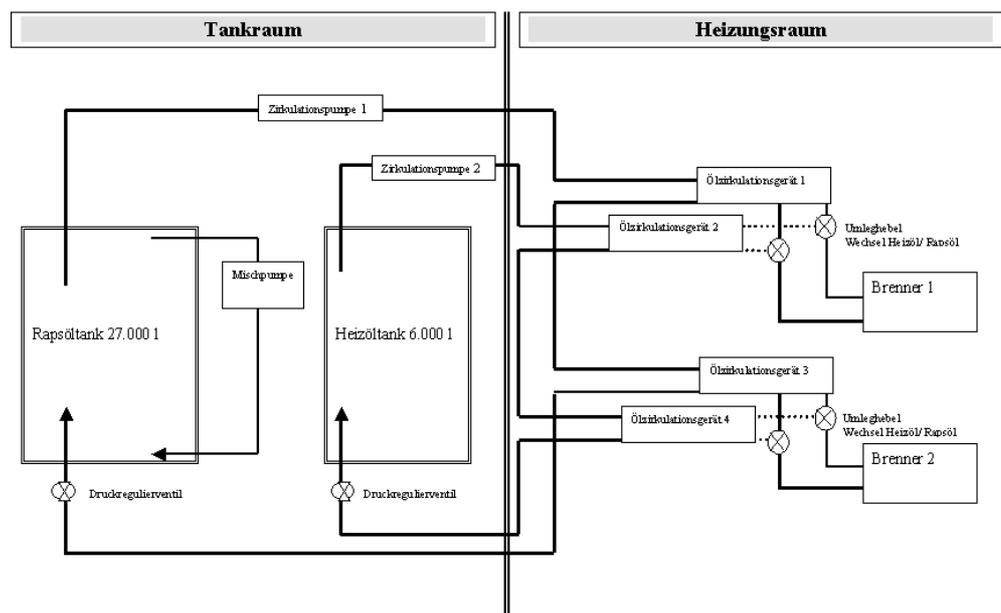


Abb. 9: Bildung: Mischvariante „hydraulische Rührereinrichtung“

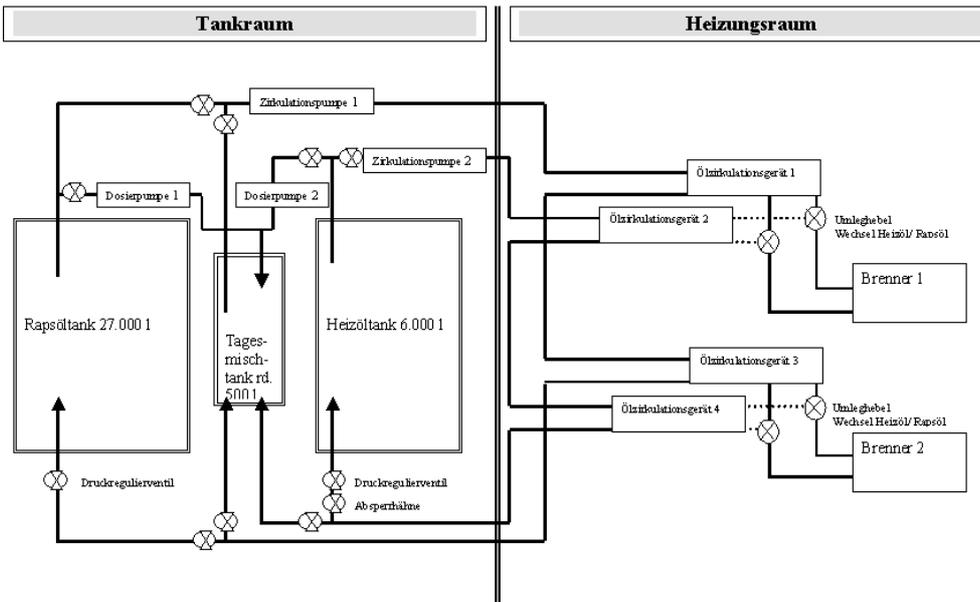


Abb. 10: Mischvariante „Tagestank“

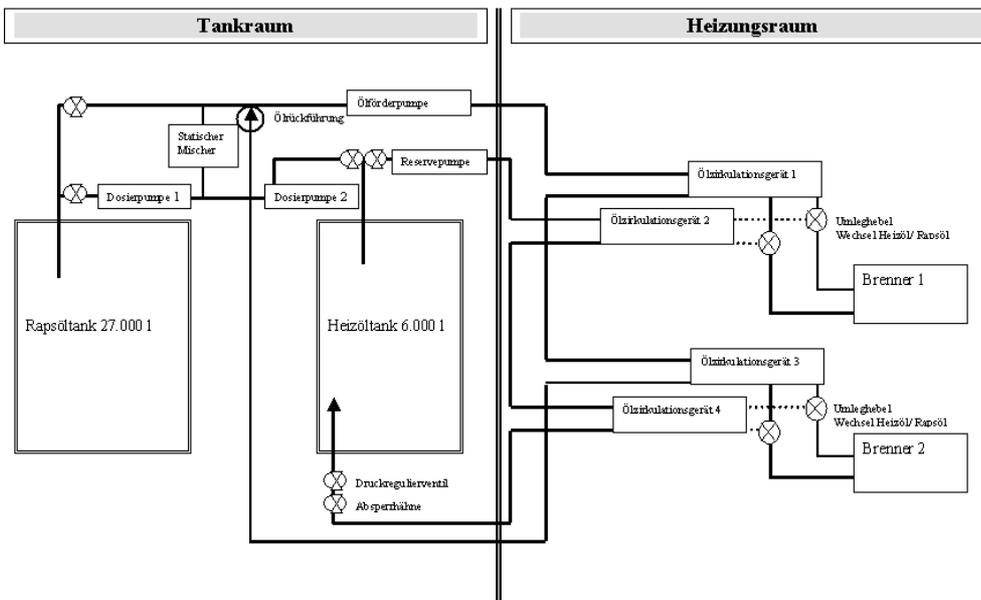


Abb. 11: Mischvariante „statische Mischstrecke“

7 Testbetrieb im Herbst 2001

Anlagentechnik

Für den Testbetrieb wurde die ursprüngliche Brennstofftankbelegung umgedreht. Im eigentlichen Reservetank (Fassungsvermögen rd. 6.000 Liter) wurde Rapsöl gelagert. Der Haupttank (Fassungsvermögen rd. 27.000 Liter) blieb vorsorglich mit Heizöl EL gefüllt, um während des Testbetriebs keinen Ausfall der Feuerungsanlage zu riskieren.

Die beiden Brenner wurden so geschaltet, dass ein Brenner ausschließlich mit Rapsöl und vorrangig betrieben wurde.

Bei auftretenden Störungen oder sehr hohem Wärmebedarf wurde dann der zweite Brenner im (ausschließlichen) Heizöl EL – Betrieb zugeschaltet.

Vor der Befüllung des Brennstofftanks mit Rapsöl wurde dieser von Heizöl EL-Rückständen gereinigt. Zudem wurden zwei großvolumige Wechselfilter mit einer Maschenweite von 20 µm eingebaut (Abb. 12).



Abb. 12: Rapsölfilter

Zur Überprüfung eines möglichen Druckabfalls in der Brennstoffleitung durch Verstopfung der neuen Filter konnten die bereits vorhandenen Manometer an den Brennern genutzt werden. Die regelungstechnische Umstellung der Anlage (von Heizöl EL-Betrieb auf Rapsöl), die Einstellung des Brenners, sowie die Reinigung von Pumpen- und Düsenfilter durch die Fachfirma erfolgte am 9. und 10.10.01.

Rapsölqualität

Aufgrund der guten Erfahrungen des „**Betreibers A**“ (siehe Kapitel 5: Erfahrungen anderer Betreiber von Rapsöl-Druckzerstäuber-Brennern in einem Leistungsbereich ≥ 370 kW) bei der Verfeuerung von Rapsöl wurde für den Testbetrieb auf das Rapsöl der dort beliefernden Ölmühle zurückgegriffen. Da es für Rapsöl als Heizölsubstitut derzeit noch keine Norm gibt, wurde der „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)“, der speziell für die motorische Nutzung von Rapsöl entwickelt wurde, als Qualitätskriterium angesetzt. Proben der ersten beiden Rapsöl-Chargen (jeweils 5000 Liter) wurden quantitativ in einem Labor analysiert. Nachdem keine erheblichen Abweichungen vom RK-Qualitätsstandard festzustellen waren und sich im Feuerungsbetrieb eine zunehmende Stabilisierung des Betriebs durch Erhöhung der Vorwärmtemperatur abzeichnete, wurden aus Kostengründen die Analysen der weiteren Lieferungen nur noch mit einem Schnelltestverfahren durchgeführt, das nur

eine qualitative Aussage (RK-Qualitätsstandard eingehalten oder nicht) zulässt (Parameter: Gesamtverschmutzung, Neutralisationszahl, Wassergehalt). Abbildung 13 zeigt die wesentlichen Bestandteile dieses Schnelltestverfahrens.



Abb. 13: Rapsöl Schnelltest

Aus dem Probengefäß (Bildmitte) wird mit einer Einwegkanüle eine definierte Menge Rapsöl entnommen und durch die Gummimembran im Deckel in die Prüfröhrchen gespritzt. Die beiden linken Prüfröhrchen (Wassergehalt, Neutralisationszahl) befinden sich noch in ihrem Ausgangszustand. Durch die Zugabe von Rapsöl kam es jeweils zu einem Farbumschlag der Indikatorlösungen, d.h. die Qualitätsparameter wurden in dieser Probe nicht eingehalten.

Im vorderen Teil des Bildes (Mitte) befindet sich die Filtervorrichtung, in die jeweils ein Filterpapier (links vor der Filterung, rechts nach der Filterung) eingelegt wurde und durch welche eine wiederum definierte Menge Rapsöl mit einer Einwegkanüle gepresst wurde. Das Filterpapier wird anschließend mit einer Verfärbungsskala verglichen. In der gezeigten Probe kam es zu keiner Eintrübung. D.h. für dieses Prüfkriterium wurde der Qualitätsstandard eingehalten.

In Tabelle 6 werden die Ergebnisse der Brennstoffanalysen wiedergegeben zum Vergleich werden die Grenzwerte des RK-Qualitätsstandard sowie zur Orientierung die Grenzwerte der DIN 51603 für Heizöl EL angegeben.

Tab. 6: Ergebnisse der Brennstoffanalysen

Prüfparameter/ Lieferdatum	Rapsölchargen (je 5000 Liter)							Grenzwerte	
	quantitativ*		qualitativ					nach RK- Qualitäts- standard	nach DIN 51603 für Heizöl _{EL} **
	08.10	31.10	12.11	21.11	27.11	3.12	07.12		
Kin. Viskosität bei 40 °C [mm ² /s]	34,70	34,44	--	--	--	--	--	38	< 6
Koksrückstand [Gew.-%]	0,30	0,30	--	--	--	--	--	0,4	0,3 (0,5)
Gesamtverschmutzung [mg/kg]	20	13	J	J	J	J	J	25	24 (30)
Neutralisationszahl [mg KOH/g]	1,22	1,2	1,67*	1,40*	1,37*	1,40*	2,10*	2,0	--
Oxidationsstabilität [h] 1. Tag	6,44	7,47	--	--	--	--	--	5,0	--
Phosphorgehalt	10	21	--	--	--	--	--	15	--
Oxidasche	0,001	--	--	--	--	--	--	0,01	< 0,01
Wassergehalt [mg/kg]	827	573	J	J	J	J	N	750	200

J: Grenzwert nach RK-Qualitätsstandard wurde eingehalten;
 N: Grenzwert nach RK-Qualitätsstandard wurde nicht eingehalten;
 * quantitative Laboranalyse
 ** In der Fassung von März 1998 (März 1995)

Anmerkung: Analyseergebnisse die die Anforderungen des RK-Qualitätsstandard nicht erfüllen, sind grau hinterlegt

Die Analyse der Neutralisationszahl mit dem Schnelltestverfahren führte regelmäßig zu einer Überschreitung der Grenzwerte. Nach Rücksprache mit der Herstellerfirma stellte sich heraus, dass die verwendeten Indikatorlösungen zum Teil auskristallisiert waren und somit die Ergebnisse verfälscht wurden. Die Neutralisationszahl wurde daraufhin von der Herstellerfirma kostenlos für alle Proben quantitativ analysiert und die Indikatorlösungen für neue Prüfröhrchen geändert.

Die Überschreitungen der Grenzwerte nach RK-Qualitätsstandard sind jeweils grau hinterlegt. Ein Einfluss der unterschiedlichen Qualitäten auf das Feuerungsverhalten konnte im Testbetrieb wegen der Einflüsse der parallel vorherrschenden technischen Schwachstellen an der Feuerungsanlage, die erst behoben werden mussten, nicht festgestellt werden.

Testbetrieb

Während des Testbetriebs wurden in einem Protokollbuch alle Vorkommnisse, wie z.B. Art der Störung und Behebung, neue Öllieferungen, veränderte Betriebsparameter usw., jeweils mit Datum, Uhrzeit, Betriebsstundenzählerstand und Rapsöldurchflussmengen-zählerstand notiert. Die Kontrollen der Feuerungsanlage wurden je nach Betriebsverhalten täglich oder mehrmals täglich durchgeführt.

Der Testbetrieb wurde in der Zeit vom 10.10.01 bis zum 10.12.01 durchgeführt. Bereits am zweiten Versuchstag musste wegen zu häufiger Störungen (kein durchgängiger Betrieb über mehrere Stunden

möglich) der Rapsölbetrieb wieder ausgesetzt werden. Um die Viskosität des Brennstoffs zu erniedrigen und damit die Zerstäubung zu verbessern, wurde die Vorwärmtemperatur am 17.10.01 von 60°C auf 72°C erhöht. Daraufhin konnte ein störungsfreier Betrieb für zumindest mehrere Betriebsstunden erreicht werden.

In diversen Expertenaussagen wurde auf eine mangelhafte Temperaturstabilität von Rapsöl hingewiesen, die einer zu hohen Vorwärmtemperatur entgegenpricht. Gleichzeitig ergab eine Recherche, dass die Düsen der Brenner im LfU höchstens eine Viskosität von 10 mm²/s (besser 8 mm²/s) zulassen. Eine Viskosität, die Rapsöl erst ab einer Temperatur von 86-90°C (besser 98°C) erreicht. Andere Düsenfabrikate, die für höhere Viskositäten geeignet wären, sind nach Auskunft des Brennerherstellers nicht erhältlich. Im Folgenden wurde daher beschlossen, die Vorwärmtemperatur der Anlage schrittweise unter Beobachtung möglicher Verkokungen an der Düse zu erhöhen.

Am 19.10.01 wurde die Vorwärmtemperatur auf 80°C hochgeregelt. Dadurch stabilisierte sich die Anlage bereits soweit, dass sie rd. 10 Tage, bzw. mit rd. 4.000 Liter Rapsöl und 50 Betriebsstunden ohne Störung lief. Gleichwohl war der Verbrennungsvorgang offensichtlich noch nicht optimal.

So wurde am 22.10.01 der Anlagenbetrieb kurzzeitig unterbrochen, um die Düse bzw. den Brennraum zu kontrollieren. Die Düse war nicht belegt. Im Brennraum, am Flammrohr und an der Stauscheibe waren aber teils schmierige, lackartige bzw. gummiartige Ablagerungen festzustellen (Abb. 14).



Abb. 14: Brennerstauscheibe und Flammrohr mit Rapsölrückständen

Am 26.10.01 wurde die Feuerungsanlage erneut zur Kontrolle geöffnet, die in der Zwischenzeit eingestellte Vorwärmtemperatur betrug rd. 84°C. Die Düse war weiterhin nicht belegt. Am Flammrohr ergab sich das selbe Bild wie bereits am 22.10.01. Die Ablagerungen an der Öffnung zum Brennraum (direkt unterhalb des Flammrohrs) waren nicht mehr verkrustet sondern ölig, schmierig.

Vermutlich sammelten sich nicht verbrannte Rapsöltröpfchen im Flammrohr und führten dort unter Hitzeeinwirkung zu den beobachteten Verschmutzungen. Ein Teil des Rapsöls tropfte in den Brennraum ab und führte dort zu dem ölig, schmierigen Belag, der nach längerer Verweilzeit dann zu härteren Verkrustungen führte. Das Flammrohr, die Stauscheibe und die Öffnung der Brennkammer wurden wiederum gereinigt. Die Vorwärmtemperatur wurde auf nun rd. 88°C erhöht. Mit der zweiten Charge Rapsöl (eingesetzt ab dem 31.10.01, wiederum 5000 Liter) konnte der Betrieb bis zum 5.11.01 weitergeführt werden.

Am 5.11.01 trat eine erste Störung auf, am 6.11.01 eine weitere. Die Feuerungsanlage wurde daraufhin erneut gereinigt. Die bereits beschriebenen Verschmutzungsercheinungen waren damit innerhalb von 5 Tagen erneut aufgetreten. Das Betriebsverhalten war somit immer noch nicht zufriedenstellend.

Befürchtete Verkokungen oder Verschmutzungen an der Düse durch überhitzten Brennstoff wurden aber während des gesamten Versuchszeitraums nicht festgestellt. Von der zweiten Charge waren zu der Zeit rd. 3000 Liter verfeuert.

Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Störung und einem Chargenwechsel, der gegebenenfalls eine andere Rapsölqualität bedingt hätte, war somit nicht gegeben.

Gleichzeitig mit der Reinigung der Anlage wurde eine neue Düse eingebaut, um deren Auswirkungen auf die Verschmutzungsneigung beobachten zu können.

Als im Anschluss kein Betrieb über mehrere Betriebsstunden mehr möglich war, konnte am 7.11.01 festgestellt werden, dass beim Startvorgang der Sprühnebel trotz vorhandener Zündfunken und gleicher Lage der Zündelektroden nicht regelmäßig zündete.

Zum Vergleich wurde der Brenner kurzzeitig auf Heizöl EL-Betrieb umgestellt und das Startverhalten beobachtet. Hierbei wurde eine wesentlich schnellere Zündung des Sprühnebels festgestellt. Während beim Rapsölbetrieb der Sprühnebel erst nach rd. 2 Sekunden zündete, geschah dies beim Heizöl EL-Einsatz unmittelbar.

Auch ein erneuter Einbau der ursprünglichen Düse zeigte keine Veränderungen beim Zündverhalten.

Im Folgenden wurde die Vorwärmtemperatur am Regelschalter auf 110°C hochgeregelt. Bei Beobachtung des Ölthermometers wurde jedoch festgestellt, dass lediglich eine Temperatur von 86°C beim Zünden des Ölnebels erreicht war.

Eine Vergleichsmessung mit einem elektronischen Messgerät ergab sogar nur eine Temperatur von 82°C. Zwar zündete der Ölnebel bei dieser Vorwärmtemperatur bereits vergleichbar schnell wie beim Heizöleinsatz, aber gleichzeitig ließ die Beobachtung den Schluss zu, dass das Vorwärmssystem offensichtlich das Erreichen der eingestellten Vorwärmtemperatur bis zum Zündzeitpunkt nicht sicherstellen kann, was letztendlich zu einer verzögerten Zündung oder nach einer Zeitspanne von rd. 2 Sekunden zu einer automatischen Abschaltung verbunden mit einer Störmeldung führen kann. Eine Erhöhung am Vorwärmregelschalter auf 120°C bewirkte beim Startvor-

gang eine Temperatur von 90°C. Nach rd. 10 Minuten Feuerungsbetrieb wurden dann rd. 107°C angezeigt.

Die Öltemperatur beim Start hing nach weiteren Beobachtungen offensichtlich nicht nur von der eingestellten Vorwärmtemperatur am Regelschalter, sondern auch von der Ausgangstemperatur vor der Erwärmung des Öls bei Beginn des Startvorgangs ab. Diese Ausgangstemperatur hängt vom Grad der Abkühlung des Öls in der Leitung ab, der von der Zeitspanne zwischen abgeschlossenem Feuerungszyklus (mit dem Abschalten der Feuerungsanlage wird auch das Vorwärmgerät abgeschaltet) und Neustart der Anlage abhängt.

So konnte festgestellt werden, dass z.B. nach einem längeren Stillstand der Anlage, bei der das Öl in der Leitung auf rd. 30°C abkühlte, bis zum Zündzeitpunkt lediglich eine Temperatur von 50°C erreicht wird. Bei so niedrigen Temperaturen ist dann die Viskosität so hoch, dass nur ein verzögertes oder ganz aussetzendes Zünden des Sprühnebels die Folge sein kann, was dann zu Verschmutzungen oder zur Störmeldung des Brenners führt.

Nach Rücksprache mit dem Brennerhersteller dürfte das ungünstige Verhalten der Vorwärmanlage in einem für das Vorwärmgerät vergleichsweise großem zu erhitzenen Ölvolume liegen. An der Anlage im LfU ist das Rohrleitungssystem im Verhältnis zur Vorwärmleistung offensichtlich sehr groß ausgeführt. Eine permanente Beheizung des Öls in einem Vorwärmbehälter, nicht wie im LfU in einem Durchflusssystem, das nach jedem Feuerungszyklus abgeschaltet wird, könnte hier eine einfach zu realisierende

Verbesserung bieten. Jedoch könnte wegen einer möglichen beschleunigten Alterung des Öls aufgrund zu langer Hitzeeinwirkung bei dieser Methode die Bildung von Ablagerungen im Vorwärmbehälter erwartet werden.

Mit jedem neuen Startvorgang sammeln sich weitere Rapsölrückstände im Brenner an, die dann wegen des (gegenüber Heizöl EL) schlechteren Verdampfungsverhalten von Rapsöl das beobachtete Verschmutzungsbild zeigen.

Um die erkannten Schwachstellen zu beheben, wurden am 14.11.01, das Vorwärmssystem und der Brenner neu eingestellt.

Die Vorwärmtemperatur wurde auf 120°C hochgeregelt, die Vorwärmzeit bis zum Brennerstart auf ihren Höchstwert von rd. 3 Minuten gestellt und der Temperaturfreigabewert am Temperaturregelgerät der Heizpatrone am Düsenkopf (Typ ROB) auf den Maximalwert von 130°C erhöht (der Temperaturfreigabewert von 130°C bezieht sich auf die Temperatur am Düsenstock, die durch eine separate Heizpatrone erreicht wird und nicht die tatsächliche Öltemperatur misst).

Bei der eingestellten hohen Vorwärmtemperatur von 120°C wurde befürchtet, dass es zu Verkokungen oder Ablagerungen an der Düse kommen könnte. Die Einstellungen durch den Heizungsmonteur und die dazu durchgeführten Abgasmessungen sind (mit den Vergleichseinstellungen des Heizölbrenners) in Tabelle 7 angegeben.

Tab. 7: Einstellung der Brenner des LfU am 14.11.01

Öl					Abgas						Luft			Kessel			
Öl-durch-satz	Öltem-peratur	Pumpendruck		Stellung Ölregler	CO ₂	O ₂	CO	NO _x	Ruß-zahl	Abgas-temp	Ansaug-temp	Druck vor Mischein-richtung	Luft-klappen-stellung	Zug / Druck		Medium Austritt	Verlust
		V	R											Brenn-raum	Kessel-ende		
[l/h]	[°C]	[bar]	[bar]		[Vol. %]	[Vol. %]	[ppm]	[ppm]		[°C]	[°C]	[mbar]		[mbar]	[mbar]	[°C]	[%]
Rapsöl (Brenner 1)																	
52	120	-	-	55	11,1	5,8	23	56	0	130	24	3,0	1,0	1,0	-0,82	76	5,5
74	-	-	-	75	12,2	4,3	40	84	0	155	24	5,8	1,7	2,2	-0,93	77	6,3
92	-	-	-	95	12,6	3,7	45	96	0	164	24	8,2	2,1	3,2	-0,97	78	6,5
100	115	-	-	118	12,7	3,5	46	98	0	170	24	9,5	2,5	3,8	-1,02	76	6,7
Heizöl EL-Einsatz mit Einstellungen für Rapsöl (Brenner 1)																	
-	-	-	-	Kleinlast	12,0	4,5	35	68	0	145	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	Volllast	13,7	2,2	31	95	0	162	-	-	-	-	-	-	-
Heizöl EL (Brenner 2)																	
53	-	25	19,5	55	10,6	6,5	17	49	0	120	20	4,0	1,3	1,8	-0,86	68	5,5
75	-	25	18	75	11,9	4,6	27	73	0	149	21	7,2	2,0	2,4	-0,91	63	6,2
90	-	25	19,5	92	12,3	4,1	33	85	0	166	22	10,5	2,6	3,5	-1,0	64	6,8
100	-	25	19,8	118	12,7	3,6	41	96	0	183	22	12,5	3,2	4,2	-1,08	64,5	7,4

Es wurde jeweils eine Düse vom Typ WS/4/50kg mit einem Sprühwinkel von 50° eingesetzt.
Der Vordruck an der Brennerpumpe betrug bei Rapsöl 1,2 bar, bei Heizöl EL 1,4 bar.

Mit den vorgenommenen Änderungen konnte eine erhebliche Erhöhung der Vorwärmtemperatur beim Start erreicht werden. Dennoch wurden immer noch Starttemperaturen von lediglich 80°C beobachtet und die vorgesehene Mindesttemperatur von 86°C nicht erreicht. Eine weitergehende Verbesserung könnte nach Auskunft des Brennerherstellers jedoch nur durch eine Umkonstruierung der Anlage (geringere zu erwärmende Ölmenge) oder eine Veränderung der Regelungstechnik erreicht werden, bei der z.B. die Brennerfreigabe in Abhängigkeit von der Vorwärmtemperatur erfolgt. Hierzu müsste jedoch die Regelungstechnik der Anlage umgebaut und eventuell die Temperaturmessstelle verändert werden. Im weiteren Versuchsablauf sollten daher zuerst die Auswirkungen der nun durch eine optimierte Einstellung verbesserten Vorwärmung dokumentiert werden.

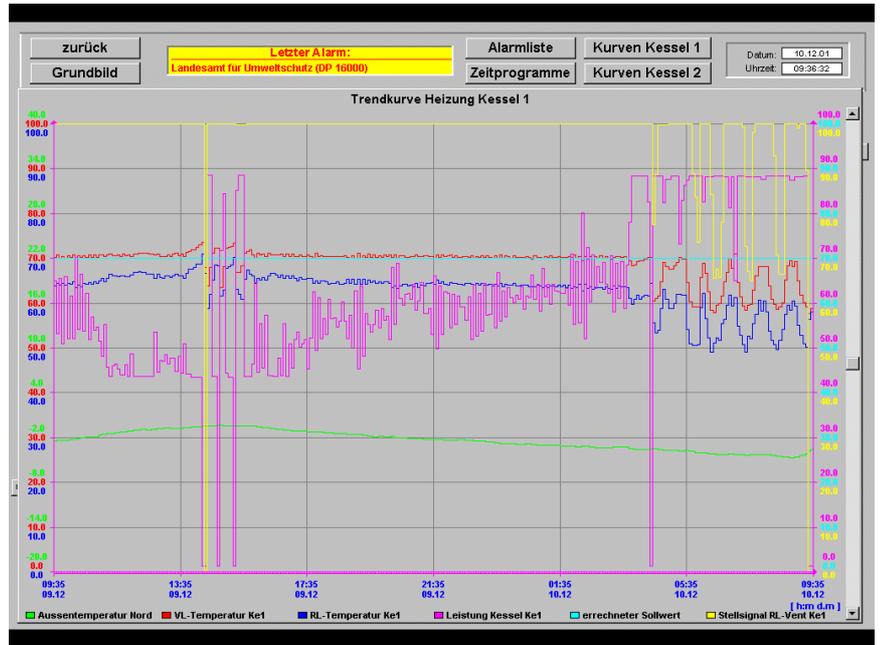


Abb. 15: 24-Stunden Übersicht der Gebäudeleittechnik des LfU vom 9. - 10.12.01

Anmerkung: Die untere palisadenartige Linie gibt die Leistungsregelung des Brenners innerhalb von 24-Stunden am 09. und 10.12.2001 wieder. Jede neue „Palisade“ bedeutet einen Startvorgang.

Gleichzeitig zu den durchgeführten Verbesserungen an der Vorwärmung verringerte sich die Taktungshäufigkeit (An- und Abschaltvorgänge). Dies wurde einerseits durch einen höheren Wärmebedarf aufgrund gesunkener Außentemperaturen bedingt, zusätzlich gelang es aber auch, die ursprünglich vorgesehene modulierende Fahrweise des Brenners zumindest teilweise zu realisieren. Erreicht werden konnte dies durch eine regelungstechnische frühere Freigabe eines offensichtlich zu trägen Regelventils im Wärmeabnahmesystem. Dieses Ventil hatte bisher bei einem Neustart des Brenners die Wärme so verzögert an das Wärmeleitungssystem des Gebäudes weitergegeben, dass regelmäßig bereits nach kurzer Zeit die Kesselwassertemperatur ihren Sollwert erreichte und zum Abschalten der Anlage führte. Kurz darauf wurde dann durch Öffnen des Regelventils und erneute Abkühlung des Kesselwassers der nächste Startvorgang eingeleitet.

Die Aufzeichnung der 24-Stunden-Übersicht der Gebäudeleittechnik nach den durchgeführten regelungstechnischen Verbesserungsmaßnahmen zeigte z.B. am 9.11.01 zwischen 9:30 Uhr und 18:30 Uhr lediglich drei Abschaltvorgänge gegenüber 39 am Versuchsbeginn (Aufzeichnungen vom 18. - 19.11.01) (Abb. 15).

Mit den beschriebenen Verbesserungen an der Vorwärmung und der Taktungshäufigkeit konnte das gewünschte Ziel eines störungsfreien Betriebs bereits erreicht werden. Die noch zu Versuchsbeginn beobachteten starken Verschmutzungen des Flammrohrs und der Brennerstauscheibe traten nicht mehr auf (Abb. 16).



Abb. 16: Flammrohr mit Stauscheibe bei der Rapsölverfeuerung (linke Bilder kurz nach Versuchsbeginn; rechte Bilder nach den durchgeführten Verbesserungen bei Versuchsende)

Der Vergleich der beiden Fotos zeigt die deutliche Abnahme der Verschmutzungen. Bei den linken Aufnahmen (am 6.11.01) waren seit der vorangegangenen Reinigung in rd. 50 Betriebsstunden 3.600 Liter Rapsöl verfeuert worden. Bei den rechten Aufnahmen am Versuchsende waren dagegen in 247 Betriebsstunden, also in der 5-fachen Zeit, 25.433 Liter Rapsöl ohne die bisherigen Verschmutzungen verfeuert worden.

In den rechten Aufnahmen sind weiße puderzuckerartige Beläge erkennbar, die auch an den Kesselwänden (Abb. 17) festzustellen waren.



Abb. 17: Rapsölkessel mit weißem Belag

Eine Laboranalyse dieses „Brennerstaubs“, die bereits während des Betriebs im Jahr 2000 durchgeführt wurde, führte zu den Ergebnissen in Tabelle 8.

Die höchsten Konzentrationen wurden bei Phosphor und Kalzium gemessen. Es handelt sich daher bei dem Brennerstaub vermutlich hauptsächlich um $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ mit Mg, Fe, K und S Verunreinigungen.

Eine nachteilige Auswirkung auf den Feuerungsbetrieb wurde nicht festgestellt und dürfte sich vermutlich nur ergeben, falls dieser Belag (ähnlich einer Rußschicht) sich soweit aufbauen würde, dass er den Wärmeübergang an den Wärmetauscherflächen beeinträchtigen könnte. Die im Versuchsbetrieb aufgetretene Schicht war jedoch so fein, dass hierbei noch nicht von einer Beeinträchtigung auszugehen ist.

Beim Betrieb der Rapsölfeuerungsanlage des „**Betreibers A**“ (siehe Kapitel 5: Erfahrungen anderer Betreiber von Rapsöl-Druckzerstäuber-Brennern in einem Leistungsbereich ≥ 350 kW) wurde ebenfalls von dem Auftreten eines weißen Belags berichtet. Nach 3 Betriebsjahren, in denen jeweils rd. 250.000 Liter Rapsöl verfeuert wurden, wurde dieser dort durch einfaches Abfegen erstmalig entfernt.

Der Testbetrieb wurde am 10.12.01 beendet. Wegen der niedrigen Außentemperaturen und des anfangs beschriebenen hohen Energiebedarfs des Gebäudes war der tägliche Ölverbrauch auf nun rd. 2.000 Liter angestiegen. Die Energiebereitstellung über den kleineren Brennstofftank im Testbetrieb (Fassungsvermögen rd. 6.000 Liter) war wegen der zu berücksichtigenden Lieferfristen und den kurzen Lieferintervallen nicht mehr praktikabel.

Nachdem ein störungsfreier Betrieb über einen mehrwöchigen Zeitraum dokumentiert werden konnte und das Projektziel erreicht wurde, wurde aus den genannten betriebstechnischen Gründen wieder auf den „großen Heizöltank“ mit seinem höheren Lager volumen umgestellt.

Der Testbetrieb zeigte neben der prinzipiellen Tauglichkeit des Feuerungssystems für Rapsöl, dass der realisierte modulierende Brennerbetrieb bei geringer Wärmeabnahme noch nicht ausreichend zu funktionieren scheint. Er sollte daher dahingehend noch optimiert werden, dass auch im Sommer bei geringerer Abnahme, die Startvorgänge auf ein Minimum reduziert werden. Sollten bei häufigeren Taktungen wieder Störungen an der Rapsölfeuerung auftreten, wird nach derzeitigen Kenntnisstand davon ausgegangen, dass dies dann auf eine nicht ausreichende Vorwärmtemperatur während der Startphase des Brenners zurückzuführen wäre. Mit der bereits beschriebenen regelungstechnische Verknüpfung der Brennerfreigabe in Abhängigkeit von der Vorwärmtemperatur sollte sich dieses Problem jedoch beheben lassen. Hierzu müssten jedoch die Regelungstechnik der Anlage umgebaut und eventuell die Temperaturmessstelle verändert werden. Weitere Versuche dazu sind aber bisher nicht vorgesehen.

Da derzeit das Energiekonzept, wie eingangs beschrieben, aufgrund des wesentlich höheren Energiebedarfs überdacht wird, wird derzeit überlegt, auf eine leitungsgebundene Energieversorgung zu wechseln, da die vorhandene Tankanlage des LfU bei weitem nicht für die benötigten Brennstoffmengen ausgelegt ist und damit ein erheblicher Mehraufwand für Kontrolle, Nachbestellung und Wartung verbunden ist.

Wichtig erschien es uns aber, vor einem möglichen Wechsel auf einen anderen Energieträger nachzuweisen, dass ein Betrieb der Feuerungsanlage mit reinem Rapsöl störungsfrei möglich ist.

Die wichtigsten sich aus den gesammelten Erfahrungen ergebenden Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Ausgestaltung einer Rapsölfeuerungsanlage für Planer und Betreiber werden unter Kapitel 8 wiedergegeben.

Tab. 8: Analyse des Brennerstaubs

Element	Konzentration	Einheit	Abs. Fehler	Einheit
Na	2,28	%	0,21	%
Mg	2,108	%	0,051	%
Al	0,218	%	0,016	%
Si	0,401	%	0,015	%
P	19,81	%	0,03	%
S	3,325	%	0,009	%
Cl	< 0,0047	%	(0,0)	%
K	2,047	%	0,019	%
Ca	21,71	%	0,05	%
Ti	0,0172	%	0,0013	%
V	0,0049	%	0,0016	%
Cr	0,00480	%	0,00059	%
Mn	0,0909	%	0,0016	%
Fe	1,757	%	0,006	%
Co	< 23	µg/g	(0,0)	µg/g
Ni	26,4	µg/g	1,9	µg/g
Cu	690,2	µg/g	6,7	µg/g
Zn	3634	µg/g	13	µg/g
Ga	< 5	µg/g	(0,0)	µg/g
Ge	0,6	µg/g	0,4	µg/g
As	8,0	µg/g	1,4	µg/g
Se	13,9	µg/g	0,6	µg/g
Br	< 10	µg/g	0,3	µg/g
Rb	< 10	µg/g	0,3	µg/g
Sr	258,2	µg/g	1,3	µg/g
Y	< 10	µg/g	0,4	µg/g
Zr	< 10	µg/g	1,4	µg/g
Nb	< 5	µg/g	(0,0)	µg/g
Mo	5,1	µg/g	0,6	µg/g
Ag	< 5	µg/g	0,3	µg/g
Cd	5,0	µg/g	0,4	µg/g
In	< 0,6	µg/g	(0,0)	µg/g
Sn	11,7	µg/g	0,5	µg/g
Sb	< 5	µg/g	0,5	µg/g
Te	< 2,5	µg/g	(0,0)	µg/g
I	< 1,8	µg/g	(0,0)	µg/g
Cs	1,7	µg/g	0,5	µg/g
Ba	177,8	µg/g	3,8	µg/g
La	6,6	µg/g	(0,0)	µg/g
Ce	< 13	µg/g	(0,0)	µg/g
Hf	< 5	µg/g	2,4	µg/g
Ta	< 23	µg/g	(0,0)	µg/g
W	< 11	µg/g	(0,0)	µg/g
Hg	< 5	µg/g	0,8	µg/g
Tl	< 5	µg/g	0,5	µg/g
Pb	95,7	µg/g	1,9	µg/g
Bi	2,2	µg/g	0,6	µg/g
Th	< 5	µg/g	(0,4)	µg/g
U	< 5	µg/g	(1,5)	µg/g

Anmerkung: Hauptbestandteile der Probe in % des Probengewichtes, Spurenbestandteile in µg/g

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Ausgestaltung von Rapsölfeuerungsanlagen

Aus den Erfahrungen beim Rapsöleinsatz in der Feuerungsanlage des LfU, aus diversen Fachgesprächen mit Brennerherstellern, Betreibern und Instituten können folgende Probleme, die bei der Rapsölverfeuerung auftreten können, zusammengefasst werden:

- Probleme der Abdichtung der Düsen
- Verstopfung der Ölfiler
- Galertartige Ablagerungen an den Düsen
- Verschmutzung der Düsen
- Verschmutzung der Stauscheibe
- Erlahmung der O-Ringe
- unzureichendes Zündverhalten

Die Ursachen für die beobachteten Störungen können auf eine mangelhafte Anpassung der Feuerungstechnik auf die spezifischen Eigenschaften von Rapsöl oder auf die Nutzung schlechter Rapsölqualitäten (z.B. mit einer zu hohen Gesamtverschmutzung) zurückgeführt werden.

In Versuchen mit Rapsöl/Heizöl-Gemischen konnten im LfU gute Erfahrungen im Feuerungsbetrieb gemacht werden.

Ausführlichere Untersuchungen mit unterschiedlichen Ergebnissen wurden vom Steinbeis-Transferzentrum „Verfahrens-, Energie- und Umwelttechnik“ in Heilbronn gemacht.

Bei der Verfeuerung von Gemischen mit Heizöl ist weiterhin zu beachten, dass diese mineralölsteuerpflichtig sind (einschließlich des Rapsölanteils). Ob künftig die Möglichkeit der Erwirkung von Ausnahmegenehmigungen bezüglich der Besteuerung besteht, ist derzeit offen.

Zur Nutzung von Rapsöl in herkömmlichen Feuerungsanlagen wurde auch die Zugabe von Additiven zur Verbesserungen der Lager- und Verbrennungseigenschaften (wie für Mineralöl üblich) diskutiert.

Versuchsergebnisse und Erfahrungen dazu sind bisher nicht bekannt. Bei der Auswahl geeigneter Additive sollte hier, falls diese Möglichkeit aufgegriffen würde, darauf geachtet werden, dass die Umweltvorteile von Rapsöl, wie z.B. geringes Wassergefährdungspotenzial, damit nicht aufgegeben werden.

Um den Anteil des regenerativen Brennstoffs möglichst hoch zu halten und auf Beimischungen fossiler Brennstoffe zu verzichten, muss in jedem Fall eine für Rapsöl geeignete Technik gewählt werden, die sich an einer definierten Rapsölqualität orientiert und von der Brennstofflagerung über die Förderung, Vorwärmung und gegebenenfalls Feuerungstechnik auf die spezifischen Eigenschaften von Rapsöl ausgerichtet ist.

Aus den bisher vorliegenden Erfahrungen lassen sich nachfolgende Empfehlungen ableiten.

Rapsölqualität

Für Rapsöl als Brennstoff von Feuerungsanlagen existiert bisher noch keine verbindliche Norm. Annäherungsweise wird daher von verschiedenen Rapsölbrenner-Herstellern für den Betrieb ihrer Anlagen die Einhaltung des speziell für die motorische Nutzung von Rapsöl entwickelten „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)“ gefordert (Abb. 18).

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

Abb. 18: Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard)

Eine Datenbankauswertung der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik Weißenstephan zeigt, dass die auf dem Markt angebotenen Rapsölchargen oftmals diese Qualitätsnormen noch nicht einhalten (Abb. 19).

Die Kenngrößen Dichte, Flammpunkt, Heizwert, kinematische Viskosität und Iodzahl zeigen die geringsten Schwankungen und halten bis auf wenige Ausnahmen die geforderten Werte ein. Die Kenngrößen Koksrückstand, Schwefelgehalt, Neutralisationszahl, Oxidationsstabilität, Phosphorgehalt, Aschegehalt und Wassergehalt verhalten sich bei den untersuchten Proben weniger einheitlich, erfüllten jedoch im Mittel aller Einzelanalysen (Median) zumeist deutlich die Anforderungen des RK-Qualitätsstandards. Als einziger Kennwert liegt die Gesamtverschmutzung im Mittel mit mehr als dem doppelten des geforderten Werts (25 mg/kg) außerhalb des geforderten Bereichs. Diverse Reinigungsverfahren werden derzeit bei der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik untersucht.

Die Rapsöl-Analyseergebnisse im Testbetrieb des LfU zeigten Überschreitungen der Grenzwerte der Parameter Phosphorgehalt, Wassergehalt und Neutralisationszahl. Ein

Zusammenhang zwischen schlechteren Qualitäten und auftretenden Störungen konnte wegen der zusätzlichen technischen Schwachstellen an der Feuerungsanlage, die erst behoben werden mussten, nicht festgestellt werden. Jedoch erscheint eine gewisse Überschreitungen einiger Grenzwerte, die in einigen Chargen festgestellt wurden, tolerierbar.

Betreibern von Rapsölfeuerungsanlagen wird aber in jedem Fall empfohlen, die Einhaltung des RK-Qualitätsstandards vom Rapsöllieferanten zu fordern um mögliche Störungen weitgehend zu minimieren. Zudem sollte bei jeder Belieferung eine Rückstellprobe erstellt werden, um bei gegebenenfalls auftretenden Problemen feststellen zu können, ob die angelieferte Rapsölcharge z.B. den Grenzwert der Gesamtverschmutzung einhält. Eine spätere Probenahme aus dem Brennstofftank kann wegen möglicher Ablagerungen und Vermischungen mit den Restmengen älterer Chargen im Tank zu falschen Analyseergebnissen führen.

Zudem ist zwischenzeitlich auf dem Markt ein Schnelltestverfahren erhältlich, mit dem die Parameter Wassergehalt, Gesamtverschmutzung und Neutralisationszahl bestimmt werden können.

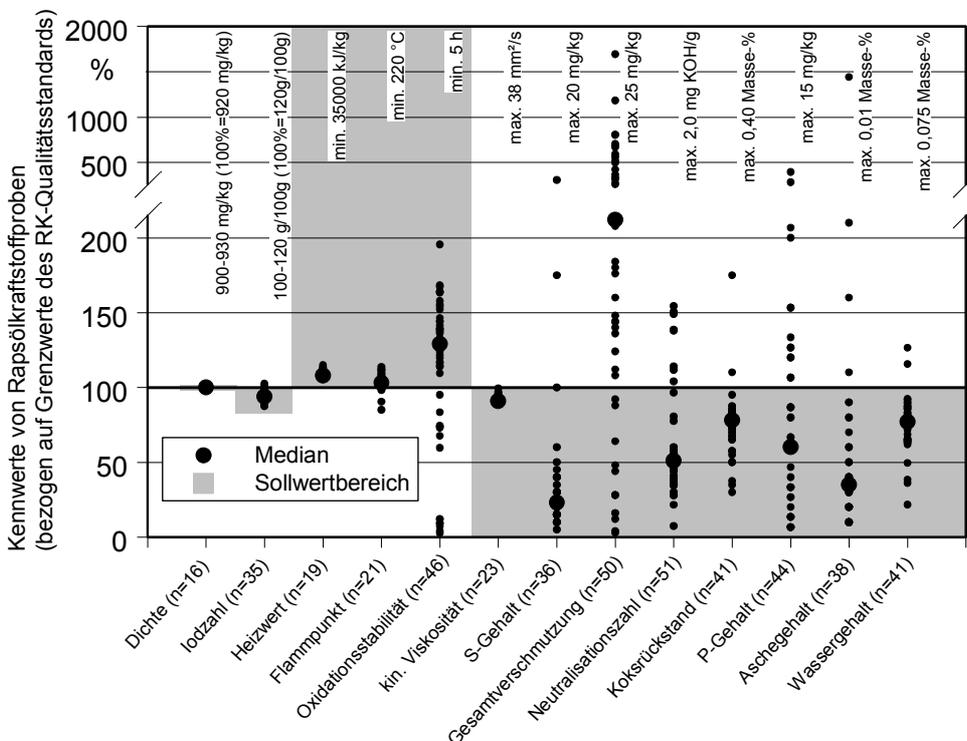


Abb. 19: Median und Streubreite analysierter Kennwerte des RK-Qualitätsstandards von Rapsölkraftstoffproben unterschiedlicher Herkunft, bezogen auf die geforderten Grenzwerte (Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik)

Materialien

Die an der Feuerungsanlage eingesetzten Materialien sollten bezüglich ihrer Eignung für Rapsöl überprüft werden. Messingverbindungen, verzinkten Leitungen und Kupferleitungen sind möglichst zu vermeiden. Sie können katalytisch wirken und damit den Rapsölalterungsprozess beschleunigen. Dies könnte zur Bildung von Ablagerungen führen, die wiederum zu Verstopfungen oder Verkokungen an der Düse führen können.

Sollte der Einsatz von RME oder Rapsöl/RME-Gemischen geplant sein, so muss bei der Auswahl geeigneter Materialien auf den Lösemittelcharakter von RME geachtet werden. Dies gilt insbesondere für die Auswahl von Brennstofftank, Leitungen, Pumpen und Dichtungen. Als für RME geeignet wurden von einem Rapsölmethylesterhersteller Fluorpolymere und Fluorkautschuk genannt. Eine Auflistung für RME geeigneter Brennstofftanks ist im Internet unter <http://www.carmen-ev.de/deutsch/info/biodiesel.html> zu finden.

Eine Materialschädigung durch reines Rapsöl ist dagegen bisher nicht bekannt.

Brennstofflagerung

Rapsöl und vor allem Rapsölmethylester sollten möglichst kühl und dunkel, eventuell unter Sauerstoffabschluss gelagert werden.

Umfangreiche Tests wurden dazu von der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik durchgeführt und in dem Projektbericht „Gelbes Heft“ Nr. 40, „Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht“ veröffentlicht. Weitere Informationen für die Lagerung von Rapsöl beim Einsatz in Pflanzenöl-BHKW gibt die Bayerische Landesanstalt für Landtechnik im „Leitfaden Pflanzenöl-BHKW“ (siehe Literaturhinweise).

Dort wird empfohlen, die Tanks möglichst so auszugestalten, dass sie vollständig und einfach entleerbar sowie leicht zu reinigen sind. Eine regelmäßige 1-3 jährige Tankreinigung, um Bodensedimente und eventuell eingebrachtes Wasser entfernen zu können, wird empfohlen. Der Tank sollte so dimensioniert sein, dass die Lagerdauer von Pflanzenöl bei guten Lagerungsbedingungen 12 Monate nicht überschreitet. Die Brennstoffentnahmestelle im Tank sollte z.B. durch den Einsatz einer „schwimmenden Entnahme“ so angebracht sein, dass Sedimente vom Tankboden nicht angesaugt werden.

Brennstoffförderung und Filter

Auch beim Brennstoffördersystem (Pumpen, Leitungen, Filter) sollte auf die Auswahl geeigneter Materialien geachtet werden (s.o.). Zudem sollte einmal entnommenes Öl nicht wieder in den Tank zurückgeführt werden. Dies kommt vor allem bei älteren Ringleitungssystemen vor. Einmal vorgewärmtes Öl, das wieder in den Brennstofftank zurückgeführt wird, kann zu einer beschleunigten Abnahme der Oxidationsstabilität des Rapsöls führen, was wiederum die Bildung von Ablagerungen fördern kann. Um bei einem Brennerausfall durch Verstopfung des Brennstoffördersystems die Ursache schnell aufzudecken, wird der Einbau eines Manometers vor dem Brenner empfohlen. Ein engmaschiger Zusatzfilter (20 µm) kann zudem Verunreinigungen abhalten. Eine Verschmutzung des Filters nach Erhalt einer neuen Rapsölcharge verhindert, dass das gesamte Leitungssystem gereinigt werden muss.

Ältere Ringleitungssysteme können durch den Einbau eines „Tigerloop-Systems“ (Ölrückführung in die Saugleitung) so umgebaut werden, dass kein vorgewärmtes Öl wieder in den Brennstofftank zurückgeführt wird. Die Eignung der dafür erforderlichen Bauteile für Rapsöl wurde bei einem Rapsöl-BHKW der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik nachgewiesen.

Brennstoffaufbereitung (Vorwärmung)

Das Rapsöl wird zur Viskositätserniedrigung vorgewärmt. Die Erhitzung des Pflanzenöls senkt aber dessen Oxidationsstabilität. Polymerisationsprodukte können sich bilden. Einmal erhitztes Öl sollte daher umgehend verbrannt werden. Eine Vorwärmung im Brennstofftank sollte vermieden werden. Auch erhitzte Zwischentanks können bei längerem Stillstand der Anlage (z.B. in den Sommermonaten) zu Ablagerungen führen.

Am besten geeignet erscheinen Durchlauf-erhitzungssysteme. Hier sollte jedoch darauf geachtet werden, dass das gewählte Vorwärmesystem so konstruiert ist, dass der Brennstoff an der Düse bereits beim Brennerstart die geforderte Temperatur erreicht hat. Andernfalls kommt es während des Startvorgangs zu einer mangelhaften Verdüsung des Brennstoffs, verbunden mit Zündschwierigkeiten und Verschmutzungen im Brennraum.

Dies war nach unserer Einschätzung eines der Hauptprobleme der Rapsölfeuerungsanlage im LfU.

Die benötigte Vorwärmtemperatur ist von der maximalen Viskosität, die die eingesetzte Brennerdüse toleriert, abhängig. An der Feuerungsanlage des LfU wurde vom Brennerhersteller eine maximale Viskosität von 10 mm²/s empfohlen. Diese Viskosität wird von Rapsöl (ohne Zusatz von RME oder Heizöl EL) ab einer Erwärmung von 86-90°C erreicht. Günstiger wäre eine Viskosität von 8 mm²/s, die ab einer Temperatur von 98°C erreicht wird.

Brenner- und Kesseltechnik

Im LfU wurde bereits in der Heizsaison 1999-2000 die Erfahrung gemacht, dass der Brenner im Dauerbetrieb gut läuft. Es wird daher empfohlen, den Brenner möglichst modulierend auszuführen oder einen Pufferspeicher aufzuheizen, der eine möglichst lange Feuerungsphase ermöglicht.

Nicht jeder Brenner ist grundsätzlich für den Einsatz von Rapsöl geeignet. Mittlerweile haben aber diverse Hersteller auf Pflanzenöl angepasste Brenner im Angebot. Einige Firmen haben sich auch ausschließlich auf die Herstellung und den Vertrieb von Pflanzenölbrennern spezialisiert, dies jedoch vorrangig für Feuerungsanlagen im kleinen Leistungsbereich (siehe auch Kapitel 7: „Lösungsansätze zur Behebung der auftretenden Betriebsstörungen bei der Verfeuerung von Rapsöl“). Im größeren Leistungsbereich ab ca. 750 kW bieten die sogenannten Drehzerstäuber (die Zerstäubung geschieht hier nicht über eine Düse sondern über einen Rotationskörper) eine gute Alternative zu den Druckzerstäubern.

9 Zusammenfassung

Vorgeschichte:

In der Heizperiode 1999/2000 kam es beim Rapsöl-Betrieb der Feuerungsanlage im LfU zu häufigen Brennerausfällen. Im Zeitraum vom 14.02.00 bis 31.05.00 wurde das Auftreten der Störungen dokumentiert. Die Störungen traten fast täglich auf (teilweise sogar mehrmals täglich), dann wiederum wurden mehrere Tage keine Störungen festgestellt. In dem angegebenen Zeitraum kam es an beiden Brennern zu insgesamt 67 Störungen.

Mit den vom Fachplaner vorgegebenen Parametern war eine störungsfreie Rapsölverbrennung damit nicht möglich. Auch die beauftragte Heizungsbaufirma konnte das regelmäßige Auftreten der Störungen technisch nicht beheben.

Daher wurden im Sommer 2000 Feuerungsversuche mit Mischungen aus Rapsöl/Heizöl EL (75%/25%) durchgeführt, die zu guten Ergebnissen führten.

Nach Bekanntwerden steuerrechtlicher Hemmnisse bei der Nutzung von Heizölgemischen, sollte in einem weiteren Versuch der Heizölanteil durch RME-Zugabe ersetzt werden.

Im Oktober 2001 kam es bei einem Versuch mit einer Mischung aus Rapsöl (ca. 75%), RME (ca. 15%) und Heizöl (ca. 10%), das noch aus der vorangegangenen Mischung enthalten war, zu einem Ausfall der Feuerungsanlage.

Die Überprüfung des Inhalts des Brennstofftanks zeigte, dass sich dort ein Bodensatz gebildet hatte, der offensichtlich zur Beeinträchtigung im Brennstofffördersystem führte. Durch die Erhöhung des Drucks in der Brennstoffförderleitung konnte die Störung vorübergehend wieder behoben werden. Der Bodensatz im Tank musste entsorgt werden.

Aufgrund der bevorstehenden Heizperiode 2000/2001 wurde zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit des Gebäudes auf weitere Versuche verzichtet und auf Heizöl EL-Betrieb umgestellt.

Im April 2001 wurde ein erneuter Rapsöl-Testbetrieb mit geringfügigen Veränderungen an der Anlage beschlossen.

Vorbereitung:

Für den Rapsöl-Testbetrieb wurden nach umfangreichen Recherchen folgende vorbereitende Maßnahmen durchgeführt:

- Reinigung des Brennstofftanks,
- Einbau eines großvolumigen Feinfilters,
- Bezug von Rapsöl guter Qualität,
- Ermittlung der Rapsölqualität mit einem Schnelltestverfahren und teilweise zusätzlicher Laboranalyse.

Testphase:

Der Rapsöl-Testbetrieb wurde im Zeitraum vom 09.10.01 bis 10.12.01 durchgeführt. Es wurden in insgesamt 367 Betriebsstunden 34.633 Liter Rapsöl verfeuert.

Zu Versuchsbeginn zeigten sich Startprobleme und Verschmutzungen des Brenners. Durch die schrittweise Erhöhung der Vorwärmtemperatur des Rapsöls von anfänglich 60°C auf bis zu 120°C konnte der Betrieb stabilisiert werden, die Verschmutzungsneigung blieb dabei aber vorerst erhalten.

Durch Beobachtung der Anlage und verschiedenen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die gewählte Vorwärmtemperatur vor allem nach einem längerem Stillstand der Anlage beim Neustart nicht immer erreicht und dadurch beim Startvorgang das Rapsöl schlechter zerstäubt wird. Dies führte zu Zündschwierigkeiten und in Verbindung mit den häufigen Startvorgängen zu Verschmutzungen mit unverbranntem Rapsöl.

Nach rd. 120 Betriebsstunden und 9.200 Liter Rapsöl wurde am 14.11.01 daher die Vorwärmzeit an der Brennersteuerung neu eingestellt. Parallel hierzu konnte die ursprünglich vorgesehene modulierende Fahrweise des Brenners zur Verringerung der Taktungshäufigkeit regelungstechnisch verbessert werden. Daneben nahm die Taktungshäufigkeit (An- und Abschaltvorgänge) durch einen höheren Wärmebedarf aufgrund gesunkener Außentemperaturen deutlich ab.

Die beschriebenen Veränderungen führten zu der gewünschten Verbesserung. Der Brenner lief bis zum Versuchsende am 10.12.01 weitere 247 Betriebsstunden und mit 25.433 Liter Rapsöl störungsfrei. Die noch bei Versuchsbeginn beobachteten starken Verschmutzungen des Flammrohrs und der Brennerstauscheibe traten nicht mehr auf.

Emissionsmessungen des Brennerherstellers bei der Feinregulierung der Anlage ergaben für beide Brennstoffe (Heizöl und Rapsöl) jeweils Emissionswerte auf gleichem Niveau.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass nach Durchführung der o.g. Maßnahmen ein störungsfreier Betrieb des Brenners bei der Verfeuerung von reinem Rapsöl möglich war. Sollten bei häufigeren Taktungen (Sommer) wieder Störungen auftreten, wird nach derzeitigen Kenntnisstand davon ausgegangen, dass diese dann auf eine nicht ausreichende Vorwärmtemperatur während der Startphase des Brenners zurückzuführen sind. Eine weitere generelle Verlängerung der Vorwärmzeit vor dem Brennerstart über den Zündautomaten ist an der Anlage des LfU jedoch nicht mehr möglich. Durch regelungstechnische Verknüpfung der Brennerfreigabe in Abhängigkeit von der Vorwärmtemperatur sollte sich dieses Problem jedoch beheben lassen. Hierzu müssten jedoch die Regelungstechnik der Anlage umgebaut und eventuell die Temperaturmessstelle verändert werden. Zudem scheinen durch weitere regelungstechnische Maßnahmen der modulierende Betrieb und damit die Taktungshäufigkeit noch optimierungsfähig.

10 Literaturhinweise

- Kerber G. und Lewetz A.:
Bericht über den Versuchsbetrieb mit Rapsöl in den Kesselanlagen K1, K2 und K3 von 1997 bis 2000 der Heizkraftwerk Würzburg GmbH, 2000.
- Meyer-Pittroff R., Dobiasch A. und Lachenmaier J.:
Untersuchung der limitierten und nicht-limitierten Abgasemissionen von regenerativ betriebenen Verbrennungsmotoren, Lehrstuhl für Energie und Umwelttechnik der Lebensmittelindustrie, 2001.
- Schmoeckel G.:
Emissionsuntersuchungen an einer Rapsölfeuerung; Bayer. Landesamt für Umweltschutz (LfU), 1998 (veröffentlicht im Internet unter: <http://www.bayern.de/lfu/luft/raps-feuer/index.html>).
- Thuneke, K. Link H, Widmann B.A. und Remmele E.:
Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Betriebs- und Emissionsverhalten ausgewählter bayerischer Anlagen, Schwachstellenanalyse und Bewertung, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Freising-Weihenstephan), 2001.
- Thuneke, K. und C. Kern:
Emissionsverhalten von pflanzenölbetriebenen BHKW-Motoren in Abhängigkeit von den Inhaltsstoffen und Eigenschaften der Pflanzenölkraftstoffe sowie Abgasreinigungssystemen – Literatur- und Technologieübersicht. Abschlussbericht: Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Freising-Weihenstephan), 1998, aktualisiert 2001.
- Thuneke, K. Widmann B.A. und Remmele E.:
Leitfaden Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Freising-Weihenstephan), 2001.
- Widmann B.A., Apfelbeck R., Gessner, B.H und Pontius P.:
„Gelbes Heft“ Nr. 40, „Verwendung von Rapsöl zu Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht“, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Freising-Weihenstephan), 1992.

11 Informationen im Internet

<http://www.admin.ch/sar/>

<http://www.asg-analytik.de/>

<http://www.bayern.de/lfu/luft/umweltforsch/umweltforsch/htm>

<http://www.bioenergie.inaro.de/>

<http://www.carmen-ev.de/>

<http://www.dainet.de/fnr/>

<http://www.dainet.de/ktbl/>

<http://www.edv.agrar.tu-muenchen.de/blm/leu/index.html>

<http://www.tec.agrar.tu-muenchen.de/pflanzoeel/index.html>

<http://www.ufop.de/>

<http://www.uni-hohenheim.de/>

<http://www.bayern.de/lfu/luft/raps-feuer/index.html>