

SCHEER Heizsysteme & Produktionstechnik GmbH

NATURA-RAPS
Durchführung grundlegender Untersuchungen zur
Verbrennung hochviskoser biogener Pflanzenöle und
Entwicklung eines Kleinlastölbrenners
für derartige Brennstoffe

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem Az: 25162 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Kffr. Nicole Schroeter

Oktober 2010

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	25162	Referat	24/0	Fördersumme	80.000,00 €
Antragstitel		NATURA-RAPS, Durchführung grundlegender Untersuchungen zur Verbrennung hochviskoser biogener Pflanzenöle und Entwicklung eines Kleinlastölbrenners für derartige Brennstoffe			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
24 Monate	20.02.2008	20.02.2010	5		
Zwischenberichte	4				
Bewilligungsempfänger	SCHEER Heizsysteme & Produktionstechnik GmbH			Tel	04839/9050
	Chausseestraße 12-16			Fax	04839/453
	25797 Wöhrden			Projektleitung	
				Nicole Schroeter	
			Bearbeiter		
			Nicole Schroeter		
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Im Fokus des Projektes stehen Heizsystem-Lösungen mit nicht fossilen Brennstoffen unter Berücksichtigung von Ökonomie und Ökologie. Ziel des Projektes war die Gewinnung von Erkenntnissen für die Entwicklung eines Kleinlastölbrenners für hochviskose, biogene Pflanzenöle.</p> <p>Das Unternehmen SCHEER verfügt über erhebliche Erfahrungen mit bereits produzierten Pflanzenölbrennern aus den Jahren 2000-2003 sowie seinen Brennwertgeräten für schwefelarmes Heizöl, Biomass to Liquid (BtL) und Rapsmethylester (RME).</p> <p>Ziel des Projektes ist es, das bereits bestehende Fachwissen des Unternehmens SCHEER für den Einsatz von Pflanzenölen in der Heiztechnik systematisch zu nutzen.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Im Rahmen einer Studie wurden die Erfahrungen aus diesen bestehenden Installationen gesammelt, systematisch aufbereitet und ausgewertet. Auf der Basis der dargestellten Analysen erfolgte eine erste Spezifikation der technischen Lösungsansätze für die Entwicklung (bzw. Weiterentwicklung) einer robusten Technologie von Pflanzenölbrennern. Im Rahmen der Maßnahmenentwicklung wurden auf dem Prüfstand des Unternehmens SCHEER drei voll funktionsfähige Anlagen für hochviskose biogene Pflanzenöle auf der Basis eines rußfreien „Blaubrenners“ aufgebaut, die unter definierten Lastbedingungen mit unterschiedlichen Brennstoffqualitäten die Untersuchungen verschiedener alternativer Konzepte erlaubten. Die Anlagenkomponenten wurden auf der Basis der Ergebnisse aus der Studie technisch umgearbeitet. Die Ergebnisse aus der Maßnahmenentwicklung, insbesondere die Ölvorwärmung und die Besonderheiten der Mischeinrichtung, fanden hierbei ihre Anwendung.</p> <p>Die Brenner für die Feldversuche wurden entwickelt, produziert und unter betrieblichen Bedingungen erfolgreich getestet.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt □ An der Bornau 2 □ 49090 Osnabrück □ Tel 0541/9633-0 □ Fax 0541/9633-190 □ http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Entwicklung eines Kleinlastölbrenners muss auf die besonderen Eigenschaften von Pflanzenölen wie z.B. hohe Viskosität, hoher Flammpunkt, stark hygroskopische („Wasser anziehende“) Wirkung mit technischen Komponenten des Brenners berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss der nicht zu unterschätzende Anteil an pflanzlichen Reststoffen bei der technischen Spezifikation berücksichtigt werden.

Eine gezielte Berücksichtigung dieser Anforderungen erlaubt die Entwicklung betriebssicherer Kleinlastbrenner, sofern die Herstellervorgaben für Wartung und Instandhaltung sowie für den Bezug und Bevorratung für die Pflanzenöle von den Nutzern eingehalten werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Projektergebnisse wurden im Internet präsentiert sowie bei Fachveranstaltungen für Monteure vorgestellt.

Fazit

Der im Rahmen des Projekts neu entwickelte Brenner soll in den Markt eingeführt werden. Dabei ist es erforderlich, durch Marketingmaßnahmen einen Kundenkreis zu erreichen, der bereit und in der Lage ist, die durch die derzeitige Besteuerung der biogenen Pflanzenöle in Deutschland in Kauf zu nehmen und somit für die Beheizung seiner Räume einen höheren Betrag zu zahlen als beim Einsatz von fossilen Brennstoffen.

Inhaltsverzeichnis

PROJEKTKENNBLETT	2
VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN	5
1. ZUSAMMENFASSUNG	6
1.1 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN, ENTWICKLUNGEN, MODELLANWENDUNGEN MIT ANGABEN DES ZIELS	6
1.2 ERZIELTE ERGEBNISSE	6
1.3 EMPFEHLUNGEN FÜR DAS WEITERE VORGEHEN	6
1.4 HINWEIS AUF DIE FÖRDERUNG DES VORHABENS DURCH DIE DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT 7	
2. EINLEITUNG	8
2.1 AUSGANGSSITUATION	8
2.2 ZIELSETZUNG / AUFGABENSTELLUNG	10
3. UNTERSUCHUNGEN ZUR VERBRENNUNG UND ENTWICKLUNG EINES KLEINLASTÖLBRENNERS	12
3.1 STUDIE	12
3.2 MAßNAHMENENTWICKLUNG	14
3.2.1 Öldüse.....	16
3.2.2 Ölvorwärmung.....	18
3.2.3 Ölpumpe	18
3.2.4 Luftdüse mit Drallgitter.....	19
3.2.5 Steuerungselektronik.....	20
3.2.6 Zündelektrode	20
3.2.7 Kessel	21
3.2.8 Ölschlauch	21
3.2.9 Filterung, automatische Entlüftung	21
3.3 PROTOTYPENBAU	22
3.2 FELDVERSUCHE UND LANGZEITEVALUATION	39
4. FAZIT	43

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildung 1: Projektverlauf.....	11
Abbildung 2: SCHEER Pflanzenölbrenner und Umrüstungen auf Heizöl EL.....	12
Abbildung 3: Flammstoffe – Eigenschaften.....	14
Abbildung 4: Brenneraufbau Blautherm® DUO	15
Abbildung 5: Öldüse	16
Abbildung 6: Abhängigkeit von Viskosität und Temperatur bei Rapsöl	16
Abbildung 7: Sprühmuster von Düsen am Beispiel des Herstellers Danfoss	17
Abbildung 8: Ölvorwärmung	18
Abbildung 9: Ölpumpe SUNTEC AT2V45D	19
Abbildung 10: Luftdüse mit Drallgitter	19
Abbildung 11: Steuergerät DKO 992 Mod. 24.....	20
Abbildung 12: Zündelektrode.....	20
Abbildung 13: Filter und automatische Entlüftung.....	21
Abbildung 14: Prüfstand SCHEER	22
Abbildung 15: Startverlauf (Temperaturen/Zeiten).....	25
Abbildung 16: Temperaturverläufe der Ölvorwärmung	25
Abbildung 17: Freibrennende blaue Flamme	26
Abbildung 18: Detailbild der Mischeinrichtung Prototyp I.....	27
Abbildung 19: Modell/ Schnittansicht Mischeinrichtung Prototyp I.....	27
Abbildung 20: Prototyp I, Sonnenblumenöl	28
Abbildung 21: Prototyp I, Rapsöl.....	1
Abbildung 22: Prototyp I, Sojaöl.....	1
Abbildung 23: Detailbild der Mischeinrichtung Prototyp II.....	30
Abbildung 24: Modell/ Schnittansicht Mischeinrichtung Prototyp II.....	30
Abbildung 25: Prototyp II, Sonnenblumenöl	31
Abbildung 26: Prototyp III	31
Abbildung 27: Prototyp IV, Mischeinrichtung.....	32
Abbildung 28: Prototyp IV, Rapsöl	33
Abbildung 29: Langzeitversuch Prototyp IV, Mischeinrichtung	33
Abbildung 30: Prototyp V, Mischeinrichtung.....	34
Abbildung 31: Prototyp V, Rapsöl	35
Abbildung 32: Prototyp V, Sonnenblumenöl.....	35
Abbildung 33: Prototyp V, Sojaöl.....	36
Abbildung 34: Versuch Sonnenblumenöl	37
Abbildung 35: Versuch Heizöl EL schwefelarm.....	37
Abbildung 36: Optimierte SCHEER Öldüse	39
Abbildung 37: SCHEER Zündelektroden	39
Abbildung 38: Ölvorwärmung I	1
Abbildung 39: Ölvorwärmung II	40
Abbildung 40: Vergleich Energieverbrauch	40
Abbildung 41: Pflanzenölpumpe.....	1
Abbildung 42: Ölschlauch.....	41
Abbildung 43: Öldruckleitung, Verschraubung	41
Abbildung 44: Filter mit automatischer Entlüftung.....	42

1. Zusammenfassung

1.1 Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen, Modellanwendungen mit Angaben des Ziels

Ziel des Projektes war es, einen Kleinlastölbrenner für hochviskose biogene Pflanzenöle zu entwickeln. Dies wurde in einer Felderprobung mit Hilfe verschiedener Prototypen realisiert.

Das erste Arbeitspaket „Studie“ beschäftigt sich mit der Sammlung von Informationen und der Auswertung der sich seit Jahren im Feld befindenden Pflanzenölbrennern des Brennerherstellers SCHEER. Dabei werden die Pilotanlagen untersucht, die seit Einbau bis heute durch das Unternehmen SCHEER betreut werden. Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets „Maßnahmenentwicklung“ wurde eine Prüfstandsvorrichtung mit überarbeiteten und technisch aktualisierten Modulbauteilen für die Brennerprototypen aufgebaut. Im darauf folgenden dritten Arbeitspaket „Prototypenbau“ wurden auf der Basis der Erkenntnisse aus dem zweiten Arbeitspaket fünf unterschiedliche weiter optimierte neue Prototypen von Brennern entwickelt und getestet. Schließlich wurden im Arbeitspaket vier „Feldversuche und Evaluation“ die in den vorherigen Phasen erreichten Ergebnisse weiter überprüft und in den Laboranlagen unter betrieblichen Bedingungen im Langzeitverhalten untersucht und ein Serienmodell eines Kleinlastölbrenners für hochviskose biogene Pflanzenöle entwickelt.

1.2 Erzielte Ergebnisse

Bei der Entwicklung eines Kleinlastölbrenners sind insbesondere die besonderen Eigenschaften von Pflanzenölen wie z.B. hohe Viskosität, hoher Flammpunkt, stark hygroskopische („Wasser anziehende“) Wirkung zu berücksichtigen. Darüber hinaus muss der nicht zu unterschätzende Anteil an pflanzlichen Reststoffen bei der technischen Spezifikation der Komponenten des Brenners Einzug finden.

Eine gezielte Berücksichtigung dieser Anforderungen erlaubt die Entwicklung betriebssicherer Kleinlastbrenner, sofern darüber hinaus während des Betriebs die Herstellervorgaben für Wartung und Instandhaltung sowie für den Bezug und Bevorratung für die Pflanzenöle von den Nutzern eingehalten werden.

1.3 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Der im Rahmen des Projekts neu entwickelte Brenner kann in den Markt eingeführt werden. Dabei ist es allerdings erforderlich, durch Marketingmaßnahmen einen Kundenkreis zu erreichen, der bereit und in der Lage ist, die durch die derzeit gültige Besteuerung der biogenen Pflanzenöle in Deutschland die höheren Betriebskosten für die Brennstoffe in Kauf zu nehmen und somit für die Beheizung seiner Räume einen höheren Betrag zu zahlen, als es beim Einsatz von fossilen Brennstoffen derzeit der Fall ist.

1.4 Hinweis auf die Förderung des Vorhabens durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Dieses Entwicklungsprojekt wurde unter dem Aktenzeichen 25162 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt im Zeitraum vom 20.02.2008 bis zum 20.02.2010 gefördert.

2. Einleitung

2.1 Ausgangssituation

Die SCHEER Heizsysteme & Produktionstechnik GmbH geht auf die Firma Rudolf Scheer-Ölbrennerfabrikation-Apparatebau zurück, die bereits im Jahre 1953 in Wöhrden (Dithmarschen, Schleswig-Holstein) gegründet wurde.

Seit seiner Gründung beschäftigt sich das Unternehmen SCHEER mit Fragen der Energieeffizienz in der Haustechnik. Steigende Preise und sinkende Verfügbarkeit der fossilen Brennstoffe Erdöl und Erdgas veranlassten das Unternehmen dazu, sich intensiv mit dem Einsatz von nachwachsenden Brennstoffen für die Heiztechnik zu befassen.

SCHEER entwickelt und produziert innovative und umweltgerechte Heizsysteme. Eine zunehmende Globalisierung verbunden mit sich immer schneller vollziehenden Veränderungen auf den Märkten bestimmt heute das wirtschaftliche Handeln der Unternehmen und somit auch von SCHEER. Nachhaltiges Wirtschaften, der sparsame Umgang mit den fossilen Brennstoffen Öl und Gas und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien sind damit einhergehende Lösungswege.

Unter den flüssigen biogenen Brennstoffen wie Sunfuel (Biomass to Liquid, BtL), Wasserstoff (H₂), Biomethanol, Bioethanol, Biogas und Biodiesel (Rapsmethylester, RME) besitzt das Rapsöl die höchste Energiedichte mit 9,2 kWh/L. Außerdem sind die Pflanzenöle unter diesen Brennstoffen die effizientesten gemessen am energetischen Output-Input-Verhältnis der Herstellung. Dabei liegen diese Werte bei Raps-Pflanzenöl aus konventionellem Anbau bei 6,7, aus ökologischem Anbau bei 14,2 und aus Leindotter-Pflanzenöl sogar bei 31,8.¹

In der betrieblichen Praxis haben sich bisherige Ölbrenner für Pflanzenöle als besonders störanfällig erwiesen, da u.a. Brenner-Modulbauteile verklebten, Düsen und Stauscheiben verschmutzten und gallertartige Ablagerungen aufwiesen.

Darüber hinaus sind die Qualitäten der am Markt angelieferten Chargen Rapsöl stark variierend. Dies führt dazu, dass bei Qualitätsschwankungen die Brenner ausfallen und der gesamte Brennstofftank geleert und gereinigt sowie die Leitungen gespült werden müssen.²

Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Pflanzenölbrenner weisen mit ca. 18 kW relativ hohe Minimalleistungen und technisch sehr aufwendige Lösungen für die Aufbereitung und Vorwärmung des Brennstoffes auf. Für die Beheizung von modernen Ein- oder Zweifamilienhäusern werden allerdings

¹ Bundesverband Pflanzenöle e.V.; „Die Stellung von Pflanzenöl im Vergleich mit anderen biogenen Kraftstoffen“, Online im Internet: URL:

http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/energie_pflanzen_VI-O6.pdf; Stand: 2010-05-11

² Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, „Erfahrungen mit Rapsöl als Brennstoff bei der Gebäudeheizung des LfU – Empfehlungen für Planer und Betreiber-“, Online im Internet: URL:

<http://www.lfu.bayern.de/luft/fachinformationen/pflanzenoele/doc/rapsoel.pdf>;

Stand: 2010-05-12

Kesselleistungen von deutlich unter 10 kW benötigt, für das Abdecken von Spitzenlasten sind dann in der Regel in z.B. einer zweiten Brennerstufe ca. 14 kW ausreichend.

Eine Überdimensionierung von Heizungsanlagen führt zum häufigen Ein- und Ausschalten des Wärmeerzeugers. Dieses „Takten“ des Brenners stellt eine potenzielle Störungsursache dar und ist zudem Ursache für vermeidbare, höhere Emissionen. Die technischen Probleme, die mit dem taktenden Betrieb verbunden sind, werden durch die Besonderheiten des Brennstoffes Pflanzenöl (speziell durch die hohe Viskosität) sogar verstärkt.

Für das Unternehmen SCHEER stellt sich damit die Herausforderung, energieeffizienter und umweltschonendere Verfahren und Produkte zu entwickeln und zugleich den Komfort der Wärmeerzeugung stetig zu verbessern. Um diesen Anforderungen moderner Niedrigenergiehäuser entsprechen zu können, wurden mehrstufige Systeme mit extrem niedriger Wärmeleistung bis zu 8 kW in den Markt gebracht, die dann auch mit regenerativen Systemen kombiniert werden können.

Im Jahre 2000 fanden bei dem Unternehmen SCHEER erste Versuche mit Rapsöl statt, die dazu führten, dass 2001 auf der Basis des Blaubrenners „Blautherm® DUO“ neue Pflanzenölbrenner produziert und ausgeliefert wurden. Da sich bereits zu einem frühen Zeitpunkt technische Probleme im Bereich der Brennstoffaufbereitung (Filtrierung und Vorwärmung) und Gemischbildung (Mischeinrichtung) einstellten, wurden die Produktentwicklungsarbeiten zurückgestellt und von einer weiteren Auslieferung der Pflanzenölbrenner abgesehen. Eine systematische Aufbereitung der Erkenntnisse mit diesen Anlagen und eine gezielte Ableitung von möglichen Innovationsrichtungen wurden zum damaligen Zeitpunkt nicht durchgeführt.

Das Unternehmen SCHEER hat Brennwertgeräte für schwefelarmes Heizöl, BtL (Biomass to Liquid) und RME (Rapsmethylester) entwickelt und verfügt über alle erforderlichen technischen Zulassungen zur Produktion derartiger Brenner, wodurch ein wesentlicher Wissensvorsprung am internationalen Markt besteht.

Die Vorteile von Pflanzenölen für den Einsatz in der Heiztechnik sind u.a.:

- Pflanzenöl hat einen fast ausgewogenen CO₂ – Haushalt
- Pflanzenöl ermöglicht eine schwefelsäurefreie Verbrennung
- Der Einsatz von Pflanzenöl schont die Erdölressourcen und ermöglicht die Zukunftssicherheit und Unabhängigkeit von erdölexportierenden Ländern
- Pflanzenöl bedeutet bei einem eventuellen Anlagenunfall mit Brennstoffaustritt keine Gefahr für Boden, Wasser und Luft, da es vollständig biologisch abbaubar ist
- Pflanzenöl beinhaltet eine geringere Brandgefahr, da sein Flammpunkt bei über 300 °C liegt
- Pflanzenöl darf fast überall auch in größeren Mengen gelagert werden
- Pflanzenöl kann regional hergestellt werden, stärkt damit die heimische Wirtschaft und vermeidet unnötigen, umweltbelastenden Logistikaufwand

2.2 Zielsetzung / Aufgabenstellung

So reizvoll der Gedanke an die nahezu CO₂-neutrale Verbrennung von Pflanzenölen ist, so anspruchsvoll sind entsprechende technische Lösungen. Die besonderen Eigenschaften des Brennstoffes Pflanzenöl bedingen in der Aufbereitung des Öles erhebliche Aufwendungen, um die Verbrennung sachgerecht zu ermöglichen. Hier sind insbesondere als Herausforderungen die vergleichsweise sehr hohe Viskosität, der Anteil an pflanzlichen Reststoffen und die stark hygroskopische („Wasser anziehende“) Wirkung zu nennen.

Das Projekt gliederte sich in fünf Arbeitspakete.

Projektstart mit dem ersten Arbeitspaket „Studie“ war die Sammlung von Informationen und die Auswertung der sich seit Jahren im Feld befindenden Pflanzenölbrennern. Dabei wurden die SCHEER-Brenneranlagen untersucht, die seit ihrem Einbau durch das Unternehmen SCHEER betreut werden. Die aufgenommenen Daten wurden genutzt, um die praxisrelevanten Kriterien für die Entwicklung eines Kleinlastölbrenners für hochviskose biogene Brennstoffe zu formulieren. Die Auswertung der Ergebnisse umfasste auch eine vergleichende Untersuchung zu konventionellen Anlagen und deren Komponenten, aus der erste technische Lösungsansätze abgeleitet werden konnten.

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets „Maßnahmenentwicklung“ wurden auf dem Prüfstand im Hause SCHEER die Modulbauteile der Brenner hinsichtlich des Einsatzes von Rapsölen untersucht und weiterentwickelt. Dabei kamen definierte Lastbedingungen mit unterschiedlichen Brennstoffqualitäten zum Einsatz. Es erfolgten Untersuchungen verschiedener alternativer Modul-Konzepte. Insbesondere die Ölvorwärmung und die Besonderheiten der SCHEER Mischeinrichtung wurden dabei betrachtet. Die damit verbundenen umfangreichen verbrennungstechnischen Messungen am Prüfstand fanden unter Einsatz des Auswertungssystems LabView statt. Darüber hinaus wurden im Rahmen dieses Arbeitspakets materialwissenschaftliche Untersuchungen in Abstimmung mit den Herstellern von Brennerkomponenten ausgeführt, die Festlegungen für entsprechende Bemusterungen von Modulbauteilen erlaubten.

Im darauf folgenden dritten Arbeitspaket „Prototypenbau“ wurden auf der Basis der Erkenntnisse des zweiten Arbeitspakets hinsichtlich der Modulbauteile gesamte, weiter optimierte neue Prototypen entwickelt und getestet. Zur Sicherstellung der Aussagequalität kamen fünf unterschiedliche Brenner-Prototypen zum Einsatz.

Schließlich wurden im vierten Arbeitspaket „Feldversuche und Evaluation“ die in den vorherigen Phasen erreichten Ergebnisse weiter überprüft und in den Laboranlagen unter betrieblichen Bedingungen im Langzeitverhalten untersucht und ein Serienmodell eines Kleinlastölbrenners für hochviskose biogene Pflanzenöle entwickelt.

Die Ergebnisse der Arbeitspakete wurden zusammengefasst und ausführlich dokumentiert. Der zeitliche Verlauf des Projekts gestaltete sich wie in Abbildung 1 dargestellt.

Arbeitspakete	Beschreibung	Beginn	Ende
1.	Studie	03.03.2008	29.08.2008
1.1	Recherche/Informationssammlung zu den Anlagen	03.03.2008	11.04.2008
1.2	Recherche, Informationssammlung zu Pflanzenölen	14.04.2008	30.05.2008
1.3	Analyse der bestehenden, installierten SCHEER-Anlagen	02.06.2008	18.07.2008
1.4	Erarbeitung v. techn. Lösungsansätzen	21.07.2008	29.08.2008
2.	Maßnahmenentwicklung	01.09.2008	06.03.2009
2.1	Kunststofftechnik	01.09.2008	17.10.2008
2.2	Vorwärmung	20.10.2008	05.12.2008
2.3	Mischeinrichtung	08.12.2008	30.01.2009
2.4	Sonstiges	02.02.2009	06.03.2009
3.	Prototypenbau	09.03.2009	24.07.2009
3.1	Vergleichstest der Varianten	09.03.2009	01.05.2009
3.2	Festlegungen für das Produkt	04.05.2009	12.06.2009
3.3	Bau der Brenner für den Feldversuch	15.06.2009	24.07.2009
4.	Feldversuche und Evaluation / Produktoptimierung	27.07.2009	27.11.2009
5.	Technische Dokumentation und Zulassung	30.11.2009	26.02.2010

Abbildung 1: Projektverlauf

3. Untersuchungen zur Verbrennung und Entwicklung eines Kleinlastölbrenners

3.1 Studie

Im Rahmen des ersten Arbeitspakets „Studie“ wurden die Informationen der sich seit Jahren im Feld befindenden Pflanzenölbrenner gesammelt. Dabei wurden besonders die Pilotanlagen untersucht, die seit Einbau durch das Unternehmen SCHEER betreut wurden. Es handelte sich um Neuanlagen bzw. um Umrüstungen bestehender Anlagen mit Pflanzenölbrennern des Unternehmens SCHEER.

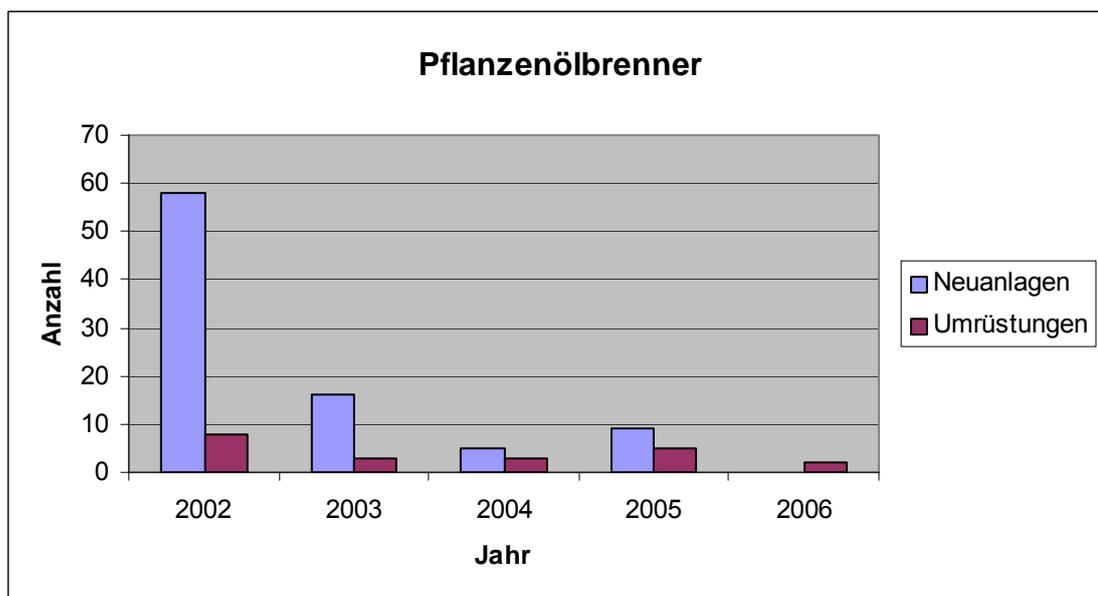


Abbildung 2: SCHEER Pflanzenölbrenner und Umrüstungen auf Heizöl EL

Es erfolgte eine Kundenbefragung über die installierten Pflanzenölbrenner. Als Ergebnis zeigte sich, dass die eingesetzte Brennertechnologie von allen Anwendern als nicht ausgereift bewertet wurde, auch wenn dies wegen der ökologischen Ausrichtung der Nutzer mit 72 % der Befragten zum größten Teil nicht als Manko, in der Praxis akzeptiert und in Kauf genommen worden ist.

Als wesentliche Kritikpunkte an der Technologie wurden die starke Geruchsbelästigung (32 %), die häufige Störanfälligkeit (28 %) und die hohen Materialkosten aufgrund der Ersatzteile bei der Wartung (22 %) genannt.

Neben der Analyse der subjektiven Bewertung der Brenneranlagen seitens der Anwender erfolgte im Rahmen des Projekts eine differenzierte anlagenspezifische Bestandsaufnahme der Installationen. Diese Analyse beinhaltete die genaue Bestückung der Brenner, die Einstelldaten sowie den Wartungsaufwand. Aufgetretene Störungen wurden bewertet und der aktuelle Zustand der Brenner-Modulkomponenten wurde unter Einbeziehung der jeweiligen Lieferanten ausgewertet.

Dabei zeigte sich eine hohe Ausfallrate über die jeweils gesamte Betriebslaufzeit für folgende Anlagenkomponenten:

- Düse (82 %)
- Zündelektrode (69 %)
- Ölvorwärmung (53 %)
- Ölpumpe (49 %)
- Steuerungselektronik (23 %)
- Kessel (Verunreinigungen) (19 %)
- Ölleitungen (Verklebungen) (19 %)
- Filterung, automatische Entlüftung (16 %)

Bei der Untersuchung der Bestandsanlagen stellte sich heraus, dass mehrere Anlagenstörungen auf die unterschiedlichen Qualitäten der eingesetzten Öle zurückzuführen waren. Standards, wie dies z.B. die Weihenstephan-Kriterien³ ermöglichen, finden in der betrieblichen Praxis kaum Anwendung. Nicht selten werden sogar Brenner für alternative Brennstoffe eher als „Allesbrenner“ eingesetzt. So wiesen z.B. einige Brenner Reste von Fischölen oder von verbrauchten Frittierölen auf.

Bei den eingesetzten Brennstoffen sind in der Heiztechnik insbesondere folgende Eigenschaften von Bedeutung:

Der **Heizwert** gibt die in einem Kilogramm maximal enthaltene Energie an. Dieser entspricht auch der für die Verbrennung maximal nutzbaren Wärmemenge. Der Heizwert ist somit das Maß für die spezifisch nutzbare Energie in einer bestimmten Bemessungseinheit.

Die **kinematische Viskosität** bezeichnet das Maß der Zähflüssigkeit eines Fluids. Je höher die Viskosität, desto dickflüssiger (weniger fließfähig) ist das Fluid. Je niedriger die Viskosität, desto dünnflüssiger (fließfähiger) ist das Fluid.

Die **Cetanzahl** ist ein Maß für die Zündwilligkeit. Die Cetanzahl ist der in Volumenprozent ausgedrückte Anteil an Cetan im Gesamtvolumen.

Der **Flammpunkt** bezeichnet die Temperatur, bei der sich in einem geschlossenen Behälter die Kraftstoffdämpfe durch Fremdzündung erstmals entflammen lassen.

³ Weihenstephan-Kriterien: <http://www.elsbett.com/fileadmin/elsbett/archiv/de/weihenstephan.pdf>, Stand: 25.06.2010

Flammstoffe	Dichte	Heizwert	kin.Viskosität	Cetanzahl	Flammpunkt
	bei 20°C		bei 20°C		
	[kg/l]	[MJ/kg]	[mm ² /sec]	[-]	[°C]
Dieselmkraftstoff	0,83	43,10	5,00	50,00	80,00
Biodiesel	0,88	37,10	7,50	56,00	120,00
Heizöl EL standard	0,84	42,60	6,00		> 55,00
Heizöl EL schwefelarm	0,84	42,60	6,00		> 56,00
Rapsöl	0,92	37,60	72,30	40,00	317,00
Sonnenblumenöl	0,93	37,10	68,90	36,00	316,00
Sojaöl	0,93	37,10	63,50	39,00	350,00
Leinöl	0,93	37,00	51,00	52,00	315,00
Olivöl	0,92	37,80	83,80	37,00	260,00
Baumwollsaatöl	0,93	36,80	89,40	41,00	320,00

Abbildung 3: Flammstoffe – Eigenschaften

3.2 Maßnahmenentwicklung

Der Prüfstand des Unternehmens SCHEER mit seinen umfangreichen messtechnischen Möglichkeiten für den Bereich der Verbrennungstechnik wurde mit dem Auswertungssystem LabView⁴ eingesetzt. Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen der Ölqualität wurde der Standard nach Weihenstephan herangezogen.

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets „Maßnahmenentwicklung“ wurde ein Laborstand für Brennermodulkomponenten aufgebaut. Bei dem im Rahmen des Projektes entwickelten und aufgebauten Pflanzenöl-Brenner „NATURA-RAPS“ wurden folgende Komponenten in den Mittelpunkt der Untersuchungen gestellt, die als ausfallkritisch in dem Arbeitspaket „Studie“ ermittelt wurden:

- Düse
- Zündelektrode
- Ölvorwärmung
- Ölpumpe
- Steuerungselektronik
- Kessel (Verunreinigungen)
- Ölleitungen (Verklebungen)
- Filterung, automatische Entlüftung.

Der Grundaufbau des Pflanzenölbrenners am Prüfstand basierte auf dem Modell eines SCHEER Blautherm® DUO, der mit Hilfe einer blaubrennenden Flamme arbeitet. Die entwickelten Maßnahmen wurden an diesem Modellbrenner angepasst. Dabei konnte die Standardmischeinrichtung nicht verwendet werden, weshalb eine luftseitige Abdichtung der Mischeinrichtung zum Brennraum durch eine Schottwand und eine Buchse im Adapterrohr realisiert wurde. Dies war erforderlich, da sich die standardisierte Luftzirkulation wegen rasch aufgetretenen Ablagerungen als nicht zielführend erwiesen hat.

⁴ LabView: <http://www.ni.com/labview/whatis/d/>, Stand: 25.06.2010

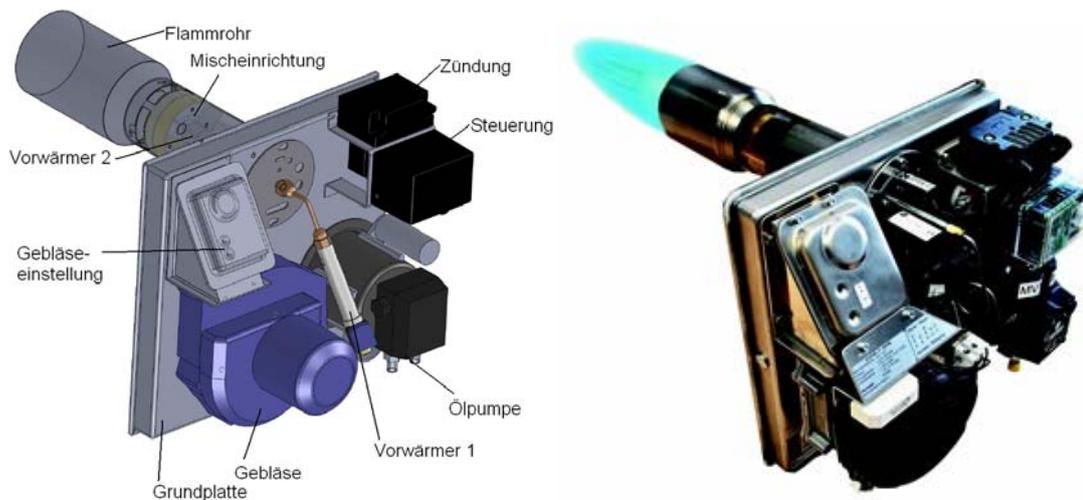


Abbildung 4: Brenneraufbau Blautherm® DUO

Spezifikationen des Blautherm® DUO:

- DUO-Blockbauweise (getrennte Luft- und Ölzufuhr)
- Leistungsbereich 9 - 46 kW mit 7 verschiedenen Mischeinrichtungen
- Aluminium-Gehäuse in Al-Mg3
- Saug- und Druckkammer für pulsationsfreien Start
- Gebläse mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln
- Gleichstromgebläsemotor mit integrierter Drehzahlregelung über PWM-Potentiometer, leistungsoptimierter E-Motor für Ölpumpenantrieb
- Ölpumpe mit Druckentlastung
- Alloy Brennerrohr über Bajonettverschluss auswechselbar
- verstellbare Rezirkulationsschlitze für NOx-Modulation.

Die wesentlichen Lieferanten der Brennerkomponenten für den SCHEER Blautherm® DUO wurden bei dem Projekt beteiligt. Dadurch konnten technische Lösungsansätze rechtzeitig mit diesen Lieferanten diskutiert und modifizierte Komponenten für die Verbrennung von Pflanzenölen spezifiziert sowie getestet werden.

3.2.1 Öldüse

Für eine umweltschonende und wirtschaftliche Verbrennung eines flüssigen Brennstoffes nach dem Druckzerstäubungsprinzip muss das Öl mit optimiertem Druck durch die Düse gepresst werden.



Abbildung 5: Öldüse

Das sich daraus ergebende Sprühbild und die resultierende Verbrennungsqualität stehen in einem direkten Zusammenhang mit der stark temperaturabhängigen Viskosität des Brennstoffes und dessen Konstanz. Die nachstehende Abbildung zeigt diesen Zusammenhang für Rapsöl.

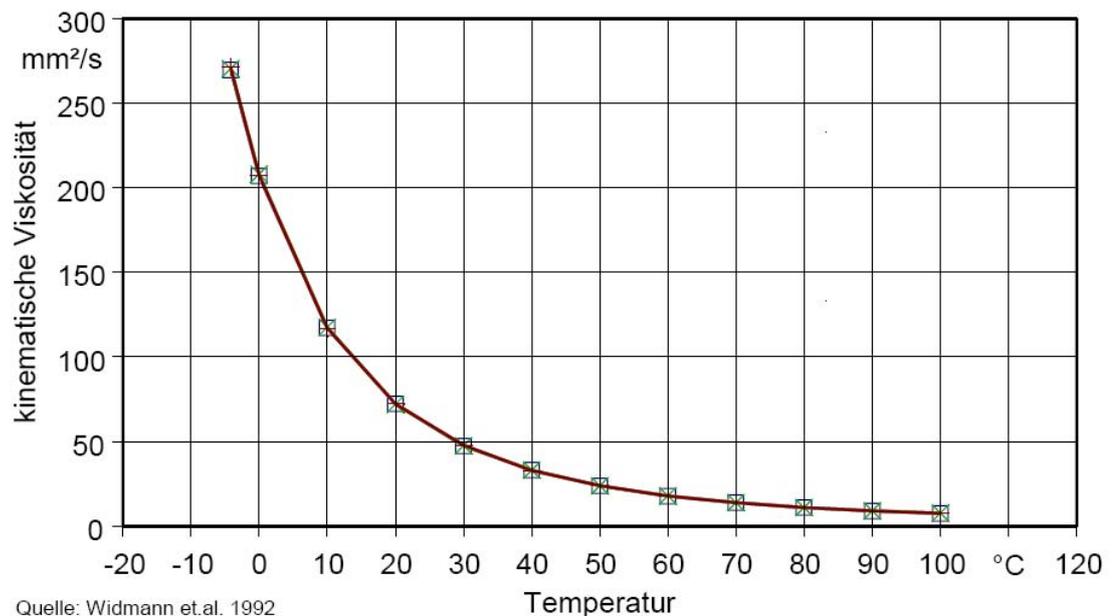


Abbildung 6: Abhängigkeit von Viskosität und Temperatur bei Rapsöl

Im Vergleich hierzu besitzt Heizöl EL bei 20 °C eine kinematische Viskosität von ca. 6 mm²/s und entspricht damit nur einem Zehntel derer von Rapsöl. Aus einer gegebenen Viskosität ergibt sich der optimale Öldruck zur Erzeugung der erforderlichen Ölzerstäubung.

Bei zu niedrigem Druck ergibt sich ein langer, kegelförmiger Film und die aufbrechenden Tröpfchen sind groß und ungleich. Mit ansteigendem Druck wird der Sprühwinkel besser definiert. Sobald ein stabiles Muster gebildet ist, wird der Winkel des Trichterfilms, der sich direkt an der Düsenöffnung bildet, durch den ansteigenden Druck nicht mehr verändert. Bei höherem Druck schwenkt das Sprühbild der feineren Tröpfchen jedoch nach innen, da der Luftdruck außerhalb des Sprühkonus höher als in der Mitte ist.

Im Allgemeinen gilt es als erstrebenswertes Ziel eine Tröpfchengröße und eine Zerstäubung zu finden, welche die ruhigste und wirkungsvollste Verbrennung sicherstellt. Die hauptsächlichen Faktoren, die die Tröpfchengröße beeinflussen, sind:

- Düsen mit größerem Durchsatz erzeugen größere Tröpfchen bei gleichem Druck, gleicher Öleigenschaften und gleichem Zerstäubungswinkel. Eine 10 gph-Düse (Gallonen pro Stunde) z.B. bildet größere Tröpfchen als zwei Düsen mit je 5 gph zusammen. Dies ist einer der Gründe, weshalb in einigen Brennern Doppeldüsen mit dem Ziel einer besseren Verbrennung zum Einsatz kommen.
- Je breiter der Düsenwinkel, desto kleiner ist die Tröpfchengröße bei gleichem Öldurchsatz.
- Je höher die Viskosität des Brennstoffs, desto größere Tröpfchen werden bei gleichem Druck im Sprühfeld erzeugt.
- Je höher der Zerstäubungsdruck, umso kleiner ist die Tröpfchengröße.

Ein erhöhter Druck erzeugt einen erhöhten Öldurchsatz und somit einen erhöhten Ölverbrauch.

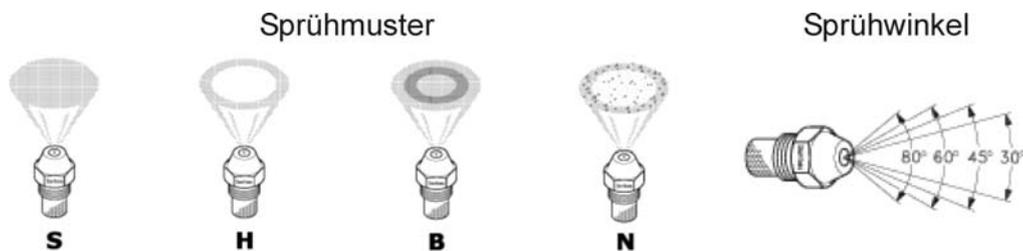


Abbildung 7: Sprühmuster von Düsen am Beispiel des Herstellers Danfoss

Öldüsen verfügen intern über einen sehr fein gearbeiteten Drallkanal und eine sehr kleine Düsenöffnung, deren Durchmesser vom geforderten Öldurchsatz abhängt.

Für Kleinlastölbrenner sind Düsen kleinster Abmessungen erforderlich, die naturgemäß bei kleinsten Verunreinigungen sehr sensibel reagieren. Die Öldüsen verschiedener Lieferanten wurden im Rahmen des Projektes erprobt. Als Ergebnis wurde eine optimierte Düse eigener Spezifikation (SCHEER 0,25; 80° SC) zur Anwendung gebracht.

3.2.2 Ölvorwärmung

Aufgabe der Ölvorwärmung ist es, den Brennstoff elektrisch zu erwärmen und somit die Viskosität herabzusetzen. Mit der Ölvorwärmung werden schwankende Lagertemperaturen des Brennstoffs ausgeglichen und der Öldurchsatz möglichst verkleinert. Darüber hinaus wird die Verbrennungsgeschwindigkeit gesteigert, wodurch die Verbrennungsqualität verbessert wird.



Abbildung 8: Ölvorwärmung

Für die Vorwärmung der Pflanzenöle wurden im Rahmen des Projektes zwei in Reihe geschaltete Ölvorwärmer eingesetzt. Die Auswahl der entsprechenden Hersteller und des Vorwärmertyps erfolgte nach umfangreichen Tests. Dadurch konnte die erwünschte Temperatur erreicht und konstant gehalten werden.

Der erste Vorwärmer vom Typ FPHB 10 (Hersteller: Danfoss) sorgt für eine gleichmäßige Öltemperatur von ca. 100 °C im Start und ca. 120 °C im Betrieb. Der zweite Vorwärmer vom Typ SOVB (Hersteller: Honeywell) sorgt für eine Temperatur von ca. 135 °C im Start und bis ca. 145 °C im Betrieb. Diese Temperatur nach dem zweiten Vorwärmer erwies sich zur Zerstäubung in der Öldüse als optimal.

Gerade bei dem zweiten Vorwärmer ist eine gut funktionierende Temperaturregelung erforderlich. Diese wurde nach diversen Versuchen mit der SOVR 201 Regelung (Hersteller: Honeywell) erreicht. Dabei wurde der zeitliche Ablauf der Vorwärmzeiten über ein Zeitrelais gesteuert.

3.2.3 Ölpumpe

Als weitere wesentliche Eigenschaft von Pflanzenölen ist deren stark hygroskopisches Verhalten zu nennen. In der Folge der Wasseraufnahme des Öles können erhebliche Filtrierungs- und Korrosionsprobleme auftreten. Als besonders anfällige und empfindliche Brennerkomponente ist hier die Ölpumpe anzuführen. Von der Pumpe gelangen Welle, Ventil, Druckeinstellung und Getriebebesatz in direkten Kontakt zum Öl und dem darin enthaltenen Wasser.

Die Ölpumpe arbeitet mittels einer Rücklaufleitung zum Ölfilter mit einem Pumpendurchsatz, der ein Vielfaches des Brennerdurchsatzes beträgt. Bei Zweistufenbrennern wird die Steuerung des Pumpendurchsatzes entsprechend von zwei Magnetventilen übernommen.



Abbildung 9: Ölpumpe SUNTEC AT2V45D

Ölpumpen reagieren bei normabweichenden fluiden Stoffen sehr empfindlich. Standardölpumpen können mit einem Mischungsverhältnis von maximal bis 5 % biologischem Brennstoff und 95 % Leichtöl betrieben werden.

Aus diesem Grund wurde in intensivem Austausch mit den SCHEER-Lieferanten diese Fragestellung im Rahmen des Projektes weiter verfolgt. Das Unternehmen SUNTEC liefert inzwischen Ölpumpen mit einer Verträglichkeit von bis zu 30 % biologischem Brennstoff und 70 % Leichtöl. Diese speziellen Modelle für biologische Brennstoffe sind mit O-Ringen aus Viton, PTFE Kolbensitz und Viton Wellendichtung ausgestattet.

Bei der Entwicklung der Ölpumpen besteht weiterhin Optimierungsbedarf, um betriebssicher Pflanzenölbrenner betreiben zu können. Aus diesem Grunde ist eine hohe Qualität der Vorwärmung und der Filterung des Brennstoffs substantiell.

3.2.4 Luftdüse mit Drallgitter

Für eine optimale Form und Zusammensetzung eines Önebels ist eine optimierte Führung der erforderlichen Verbrennungsluft erforderlich. Die Luftdüse und das Drallgitter sind eigene Entwicklungen von SCHEER. Entsprechend der Leistung in kW werden standardmäßig sieben unterschiedliche Mischeinrichtungen mit entsprechenden Luftdüsen und Drallgittern produziert und serienmäßig bei SCHEER-Brennern eingesetzt.



Abbildung 10: Luftdüse mit Drallgitter

Die Anforderungen an Luftdüse und Drallgitter wurden im Rahmen des Projektes an die besonderen Eigenschaften des Brennstoffes Rapsöl angepasst und verschiedene Vorrichtungen an der Mischeinrichtung im Rahmen der Maßnahmenentwicklung erprobt.

3.2.5 Steuerungselektronik

Das Steuergerät (oder auch „Feuerungsautomat“ genannt) überwacht und kontrolliert die Funktionen der Brennermodule Ölvorwärmer, Gebläsemotor, Luftgebläse, Brennstoffzufuhr, Zündung, Flammenüberwachung etc.



Abbildung 11: Steuergerät DKO 992 Mod. 24

Für das Steuergerät wurde im Rahmen des Projekts eine Sonderanfertigung erstellt. Das DKO 992 Mod. 24 (Hersteller: Honeywell) wurde speziell auf die Verfeuerung von Pflanzenölen im Programmablauf angepasst, wodurch sich folgende optimierte Spezifikationen einstellten:

- Einstellung einer festen Wartezeit vor Freigabe der Startvorbelüftung (45 Sekunden)
- Änderung der Freigabezeit am Magnetventil 2 (3 Sekunden)
- Änderung der Nachbelüftungszeit (180 Sekunden)
- Starthilfe (Softstart) mit zwei verschiedenen Gebläsedrücken, beim Start innerhalb der 5 Sekunden Vorzündzeit und der 3 Sekunden Verzögerungszeit mit 2 mbar und beim Betrieb mit 16 mbar.

Der Einsatz des veränderten Steuergerätes und des zweiten Ölvorwärmers erforderte wiederum im Rahmen des Projektes die Anpassung des Elektroverteilers inklusive der Einbindung von zwei Zeitrelais.

3.2.6 Zündelektrode

Der Zündvorgang wird durch die Form, Länge und Position der Zündelektroden beeinflusst. Im Rahmen des Projekts wurden diverse Varianten berechnet und experimentell überprüft. Damit konnte eine optimierte Version bestimmt werden.



Abbildung 12: Zündelektrode

3.2.7 Kessel

Der Heizkessel dient der Gewinnung von Wärmeenergie durch Verbrennung. Bereits bei der Analyse bestehender Pflanzenölanlagen wurde festgestellt, dass teilweise Kessel verwendet wurden, die wegen fehlender Kesselschutzfunktion nicht für den Einsatz von Pflanzenölen entsprechend konfiguriert waren und deswegen es deswegen zu hohen Stillstandszeiten kam.

Gerade bei den Pflanzenölbrennern ist zur Vermeidung von unnötigen Verunreinigungen eine möglichst kontinuierlich lange Brenndauer bei kleinst möglicher Leistung anzustreben. Diese wurde im Rahmen des Projektes bei den Versuchen mit den neu entwickelten Brennern berücksichtigt.

3.2.8 Ölschlauch

Ölschläuche befördern als Saugleitung das Öl aus dem Tank in den Brenner.



Abbildung 13: Ölschlauch EMÜ-diff

Aus dem Pflanzenöl können sich Ablagerungen absetzen, die die Ölschläuche verkleben und so einen einwandfreien Betrieb des Brenners verhindern. Mit den Ölschläuchen des Unternehmens Ing. Karl Eibel GmbH & Co. KG als Lieferant für spezielle Pflanzen-Ölschläuche konnten die diese Ablagerung verhindert werden.

3.2.9 Filterung, automatische Entlüftung

Für die Funktionssicherheit der Öldüsen ist zusätzlich der Fremdstoffanteil des Öles von großer Bedeutung. Hier sind bei Pflanzenölen insbesondere noch vorhandene Feststoffe im Brennstoff zu nennen. Zum Schutz der Öldüsen vor Verstopfung werden diese mit einem Sinterbronzefilter ausgerüstet. Um diesen wiederum zu schützen, ist eine geeignete Vorfiltrierung vorzunehmen.



Abbildung 13: Filter und automatische Entlüftung

Der Brennerbetrieb mit Pflanzenöl erfordert eine besonders große Sorgfalt bei der Aufbereitung des Öles. Für den Betrieb wurden unterschiedliche Filtersysteme mit transparenter Filtertasse sowie eines Vakuummeters und eines zusätzlichen Entlüfters ausgeführt. Im Rahmen des Projektes hat sich das Feinstfilterelement Nr. 1 457 434 201 (Hersteller: Bosch) in Kombination mit einem Kunststoffsternenfilter (Hersteller: Oventrop) als optimale Kombination erwiesen.

3.3 Prototypenbau

Nachdem im zweiten Arbeitspaket eine Optimierung der Brennermodule auf die Bedarfe des Einsatzes von Pflanzenölen erfolgte, wurden im dritten Arbeitspaket „Prototypenbau“ unterschiedliche Leistungsvarianten von ganzen Pflanzenölbrennern konzipiert, aufgebaut und an den Versuchsanlagen getestet. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Start- und die Betriebsphase gerichtet.

Die Versuchsanlage erfolgte auf einem modifizierten Kessel des SCHEER Heiz-Spar-Automaten SHK, in dem Kessel und Brenner aufeinander abgestimmt sind, dessen Kesselform jedoch zu keiner Unterstützung der Flammenstabilität führte.

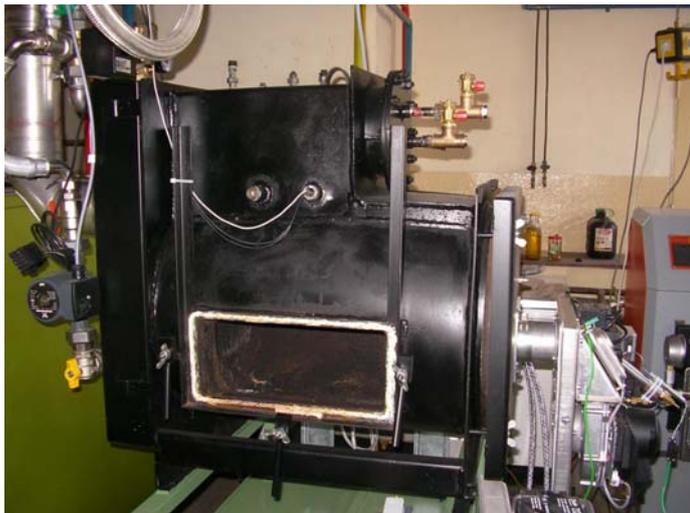


Abbildung 14: Prüfstand SCHEER

Insgesamt wurden fünf verschiedene Prototypen an Brennern, die sich in der Art der Mischeinrichtung, der verwendeten Düse, dem Pumpenöl- sowie Gebläsedruck und im Durchsatz unterscheiden, aufgebaut und am SCHEER-Prüfstand getestet. Die entsprechenden Emissionswerte wurden aufgezeichnet.

Bei den Versuchen wurden diverse Messwerte zur Beurteilung der Flammenqualität berücksichtigt. Dabei wurden die Grenzwerte für die Emissionswerte der Ölgebläsebrenner und Heizkessel gemäß neuer 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BimSchV)⁵ herangezogen und überprüft.

⁵ http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/index.html, Stand: 24.06.2010

Das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) ist ein sehr weitgreifendes Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. Ergänzt wird dieses Gesetz unter anderem durch die 1. Bundesimmissionsschutzverordnung, die für kleine und mittlere Feuerungsanlagen gilt.

Die Verordnung legt Grenzwerte fest, bis zu welchem Maß Schadstoffe aus kleinen und mittleren Feuerungsanlagen entweichen dürfen. Die Verordnung enthält auch eine Brennstoffliste, in der jene Brennstoffe aufgeführt sind, die in diesen Feuerungsanlagen verbrannt werden dürfen: Es sind unter anderem Öl, Gas, Kohle, Briketts, Holz, Stroh aber auch Pflanzenöle.

Dabei sind nach § 3 (1) Nr. 91. BImSchV folgende Grenzwerte gültig:

NO_x: 110 mg/kWh \triangleq 51,7 ppm/kWh^{*6}

CO: 1.300 mg/kWh \triangleq 1002 ppm/kWh*

Rußzahl (RZ) = 1

* bezogen auf 3 % O₂-Gehalt bzw. 13,1 % CO₂-Gehalt.

Als Messtoleranzen gelten nach DIN EN 267 vom November 1999 für CO und NO_x \pm 10 ppm und bei der Rußzahl \pm 0,2.⁷

Der **molekulare Sauerstoff O₂** ist eine Verbindung aus zwei Sauerstoffatomen. Er ist ein geruch-, geschmack- und farbloses Gas. Sauerstoff ist das häufigste und weit verbreitetste Element auf der Erde. Er wirkt brandfördernd.

Der Gehalt der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen an molekularem Sauerstoff wird in Prozent [%] gemessen.

Kohlenstoffdioxid CO₂ ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Es ist ein saures, unbrennbares, farb- und geruchloses Gas. Kohlenstoffdioxid ist nicht brennbar.

Der Gehalt der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen an Kohlenstoffdioxid wird in Prozent [%] gemessen.

Kohlenstoffmonoxid CO ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Kohlenstoffmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses und giftiges Gas. Es entsteht unter anderem bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen. Kohlenstoffmonoxid selbst ist brennbar und verbrennt mit blauer Flamme zu Kohlenstoffdioxid.

Die Ermittlung der Kohlenstoffmonoxidemissionen erfolgt gemäß 1. BImSchV Anlage 4 Nr. 3.1 bei Nennwärmeleistung als Mittelwert über die Abbrandperiode nach den entsprechenden Normen. Bei Anlagen für Brennstoffe nach § 3 Absatz 1 Nummer 8 erfolgt die Messung der Kohlenstoffmonoxidemissionen parallel zur Messung der Stickstoffoxidemissionen.

⁶ <http://www.westphal-sanitaer-heizung.de/ratgeber/INFO-U.HTM>, Stand: 20.10.2010

⁷ http://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_1_2010/_6.html, Stand: 24.06.2010

Der Gehalt der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen an Kohlenstoffmonoxid wird in Parts per Million [ppm] gemessen.

„**Stickstoffoxide**“ ist eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs. Sie werden auch mit NO_x abgekürzt, da es auf Grund der vielen Oxidationsstufen des Stickstoffs mehrere Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt. Die für die Messungen relevanten Stickoxide sind das **Stickstoffmonoxid NO** und das **Stickstoffdioxid NO_2** .

Das Stickstoffmonoxid NO ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Stickstoff und Sauerstoff. Das einfachste Stickoxid ist ein farbloses und giftiges Gas. Es ist brandfördernd und ätzend.

Das Stickstoffdioxid NO_2 ist eine chemische Verbindung aus den Elementen Stickstoff und Sauerstoff. Es ist ein rotbraunes, giftiges, stechend chlorähnlich riechendes Gas, das brandfördernd wirkt.

Die Ermittlung erfolgt gemäß 1. BImSchV Anlage 4 Nr. 3.4 nach DIN EN 14792, Ausgabe April 2006. Die Probenahmedauer beträgt eine halbe Stunde bei Nennwärmeleistung; es sind mindestens drei Bestimmungen für jede Brennstoffart durchzuführen.

Der Gehalt der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen an Stickoxiden wird in Parts per Million [ppm] gemessen.

Schwefeldioxid SO_2 ist eine Verbindung aus Schwefel und Sauerstoff. Es ist ein farbloses, schleimhautreizendes, stechend riechendes und sauer schmeckendes, giftiges Gas. Die Oxidationsprodukte des Schwefeldioxids führen zu „Saurem Regen“, der empfindliche Ökosysteme wie Wald und Seen gefährdet, Gebäude und Materialien angreift.

Der Gehalt der bei der Verbrennung entstehenden Emissionen an Schwefeldioxid wird in Parts per Million [ppm] gemessen.

Eine wesentliche Voraussetzung für den sicheren Start von Pflanzenölbrennern ist die geeignete Wahl der Öltemperatur. Hierfür wurden im Rahmen des Projekts für die verschiedenen Brennervariationen die Startzeiten mit unterschiedlichen Ölvorwärmzeiten aufgezeichnet und ausgewertet.

Für die Vorwärmung des Pflanzenöles wurden zwei in Reihe geschaltete Ölvorwärmer eingesetzt. Der Startverlauf mit dem Zusammenspiel der zwei Ölvorwärmer wurde wie in der Abbildung 15 gestaltet:

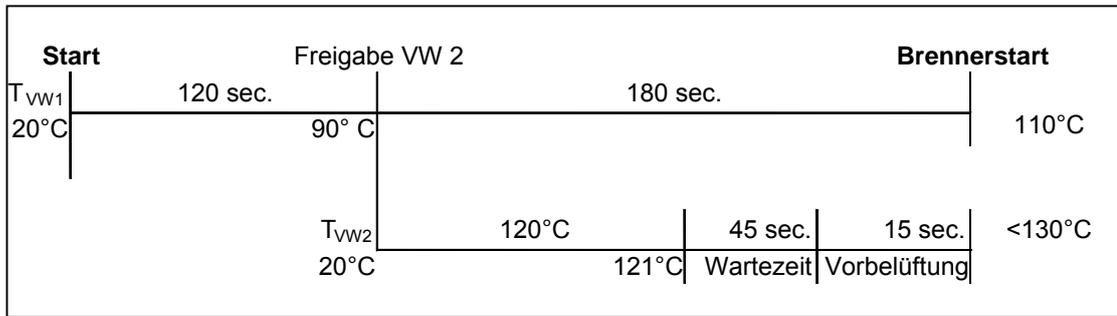


Abbildung 15: Startverlauf (Temperaturen/Zeiten)

Die Vorwärmzeit für den ersten Ölvorwärmer betrug 300 Sekunden, für den zweiten Ölvorwärmer 180 Sekunden.

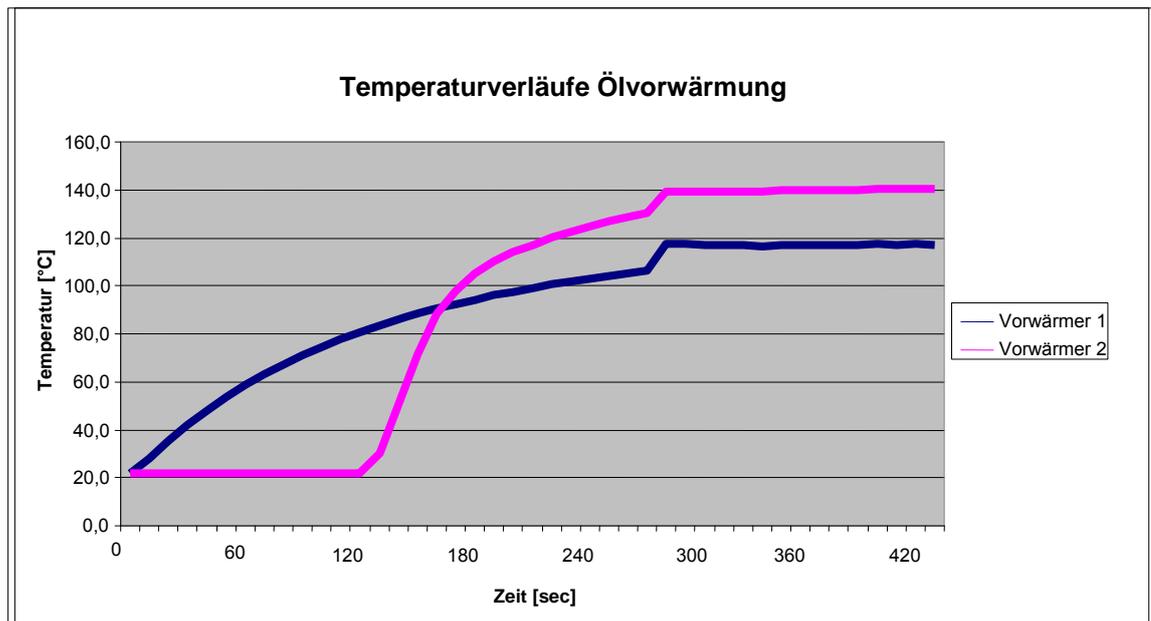


Abbildung 16: Temperaturverläufe der Ölvorwärmung

Dabei hat sich das beste Startverhalten bei Öltemperaturen von 130° bis 135 °C eingestellt.

Der erste Vorwärmer vom Typ FPHB 10 (Hersteller: Danfoss) sorgt für eine gleichmäßige Öltemperatur von ca. 110 °C im Start und ca. 120 °C im Betrieb. Der zweite Vorwärmer vom Typ SOVB (Hersteller: Honeywell) sorgt für eine Temperatur von ca. 135 °C im Start und bis ca. 145 °C im Betrieb. Diese Temperatur nach dem zweiten Vorwärmer ist zur Zerstäubung in der Öldüse optimal.

Die Voreinstellung der Brennerprototypen bezüglich Pumpendruck, Luftmenge und Ölvorwärmtemperatur erfolgte außerhalb des Kessels bei frei brennender Flamme.



Abbildung 17: Freibrennende blaue Flamme

Für die Durchführung der Versuche wurden die Pflanzenöle Sonnenblumenöl, Rapsöl und Sojaöl eingesetzt. Die langjährigen Erfahrungen mit Pflanzenölen waren die Grundlage für den Prototypenbau.

Prototyp I

Der Grundaufbau des Pflanzenölbrenners am Prüfstand basierte auf dem Modell eines SCHEER Blautherm® DUO, der mit Hilfe einer blaubrennenden Flamme arbeitet.

Die Besonderheit des Prototypen I liegt in der speziellen SCHEER Mischeinrichtung des Typs 15,7/24. Die Luft strömt bei diesem Prototypen I geführt durch vier Leitbleche am Kopf der SCHEER Mischeinrichtung durch das Drallgitter, anschließend an der Düse vorbei und wird mit dem dort aus der Düse austretenden Ölnebel an den Zündelektroden entzündet.

Darüber hinaus wurde eine manuelle Zeitsteuerung der Ölvorwärmung vorgenommen.

Mischeinrichtung:	SCHEER 15,7/24
Düse:	Delavan 0,30/80° B-DOF,
Pumpenöldruck:	Pöl=20 bar
Gebälasedruck:	PGebälase =15 mbar PStart = 2 mbar
Leistung:	14 kW

Temperatur Wärmeerzeuger = 60 °C
Temperatur Öl = 18 °C

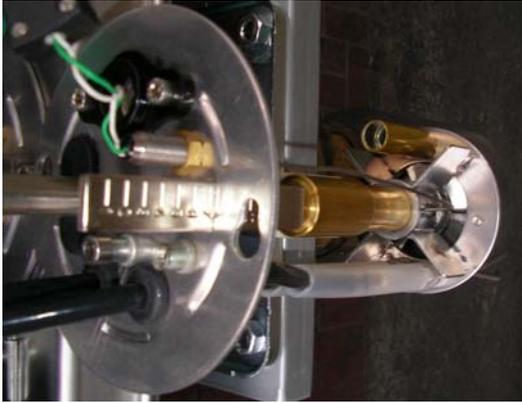


Abbildung 18: Detailbild der Mischeinrichtung Prototyp I

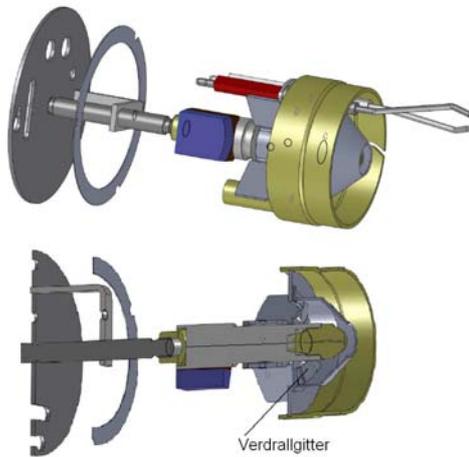


Abbildung 19: Modell/ Schnittansicht Mischeinrichtung Prototyp I

Als wichtige Voraussetzung für eine gute Verbrennung ist das optimale Verhältnis zwischen Öl und Luft. Der Ölnebel muss im Kaltstart eine Zündung gewährleisten. Die Betrachtung der Emissionswerte stand hierbei stets im Mittelpunkt.

Der Prototyp I wurde jeweils mit den Pflanzenölsorten Sonnenblumenöl, Rapsöl und Sojaöl befeuert. Dabei wurden die Emissionswerte aufgezeichnet und analysiert.

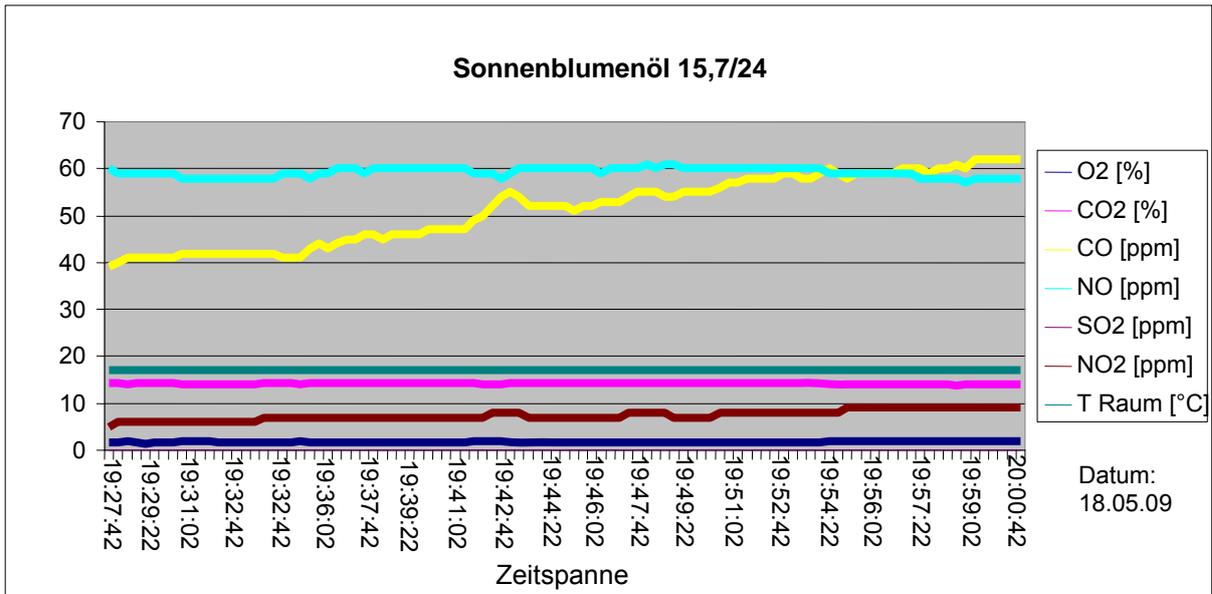


Abbildung 20: Prototyp I, Sonnenblumenöl

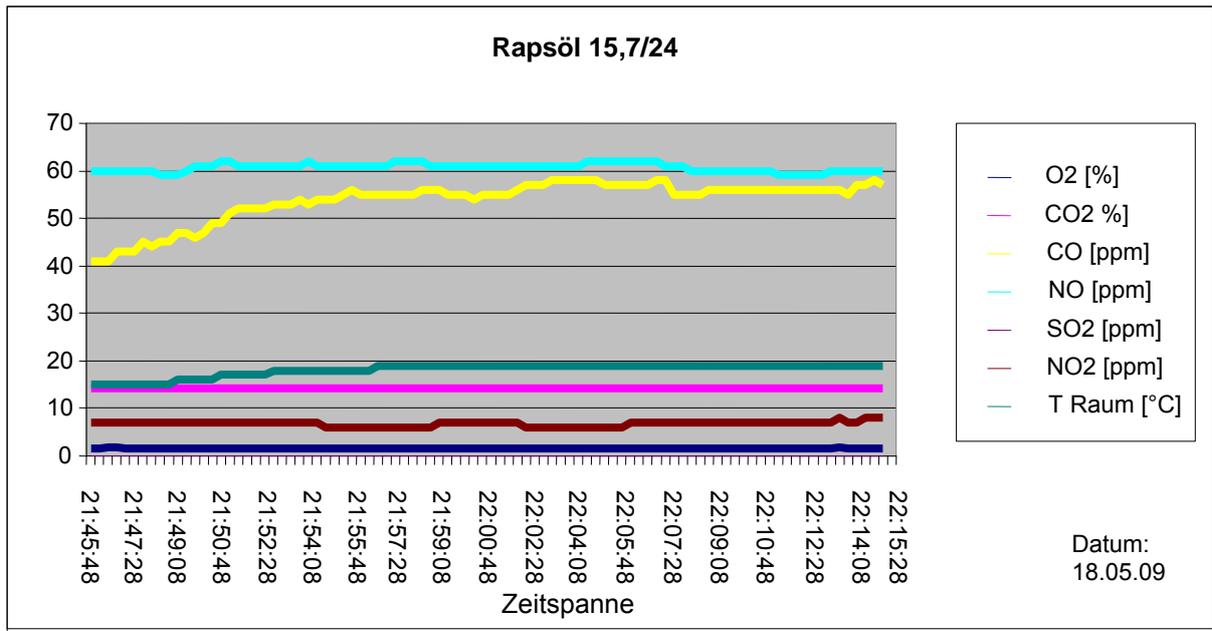


Abbildung 21: Prototyp I, Rapsöl

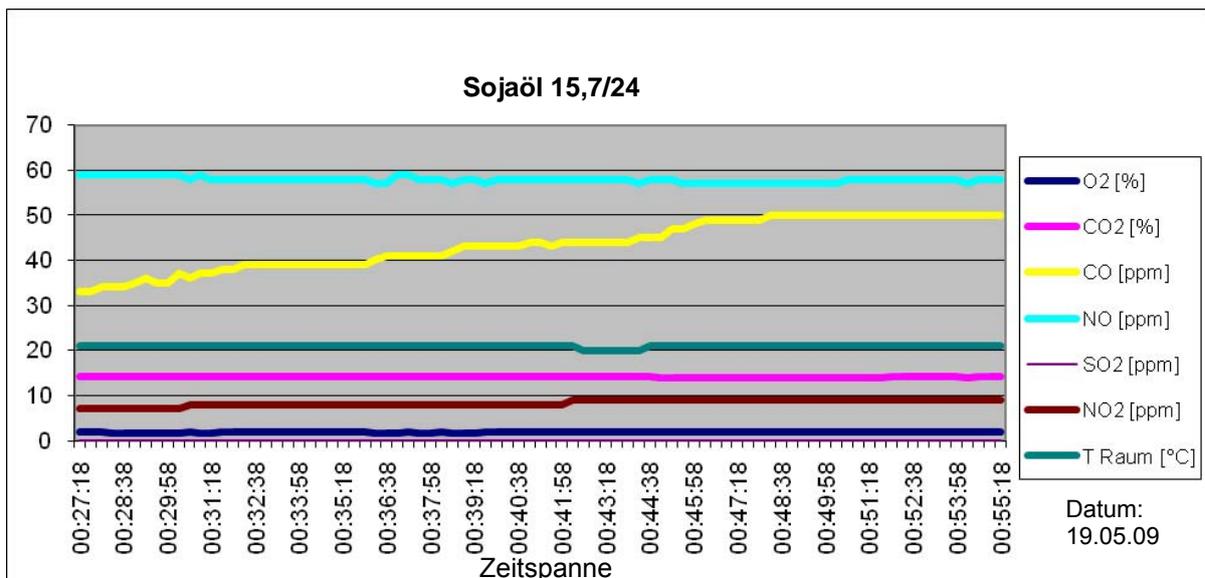


Abbildung 22: Prototyp I, Sojaöl

Die Messergebnisse zeigten einen stetigen Anstieg des Anteils an Kohlenstoffmonoxid allerdings bei niedrigem Niveau. Diese ist auf das noch zu optimierende Startverhalten des Brenners zurückzuführen.

Die hohe Viskosität von Pflanzenölen führte allerdings zu einem „Nachtropfen“ aus der Öldüse. Diese Öltröpfchen verbrennen nicht vollständig und sammeln sich am Boden des Kessels an. Mit steigender Kesseltemperatur verdampfen sie und beeinflussen so die Verschmutzung des Kessels. Dies machte es erforderlich, die Brenner wesentlich aufwändiger zu modifizieren um die saubere Verbrennung zu ermöglichen.

Prototyp II

Im Gegensatz zu der Mischvorrichtung im Prototypen I wurde beim Prototypen II die Luft in eine verstärkte Rotation versetzt. Dafür wurden die vier Leitbleche gegen eine Luftführungshülse getauscht und das Drallgitter invertiert.

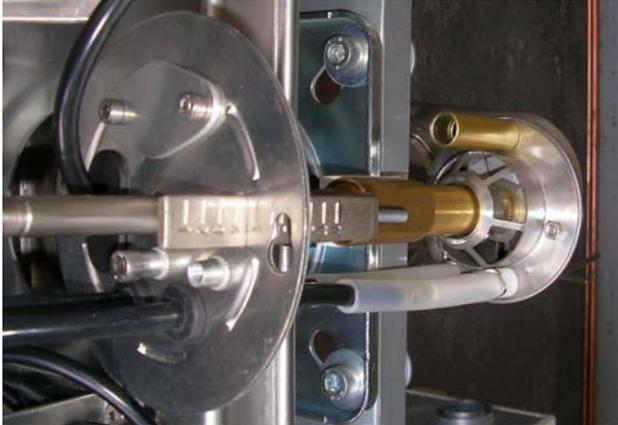


Abbildung 23: Detailbild der Mischeinrichtung Prototyp II

Zur weiteren Optimierung der Steuerung der Vorwärmzeiten wurde bei diesem Prototypen darüber hinaus ein Zeitrelais eingesetzt. Die optische Flammenüberwachung wurde durch eine Ionisationsflammenüberwachung über das Zündgerät (Hersteller: BERU) übernommen.

Mischeinrichtung: SCHEER 15,7/24 invertiert
Düse: Delavan 0,30/80° B-DOF,
Pumpenöldruck: Pöl=20 bar
Gebläsedruck: PGebläse =16,5 mbar
PStart = 2 mbar
Leistung: 14 kW

Temperatur Wärmeerzeuger = 60 °C
Temperatur Öl = 18 °C

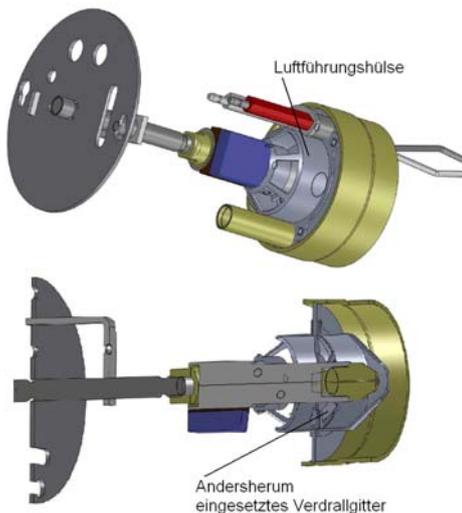


Abbildung 24: Modell/ Schnittansicht Mischeinrichtung Prototyp II

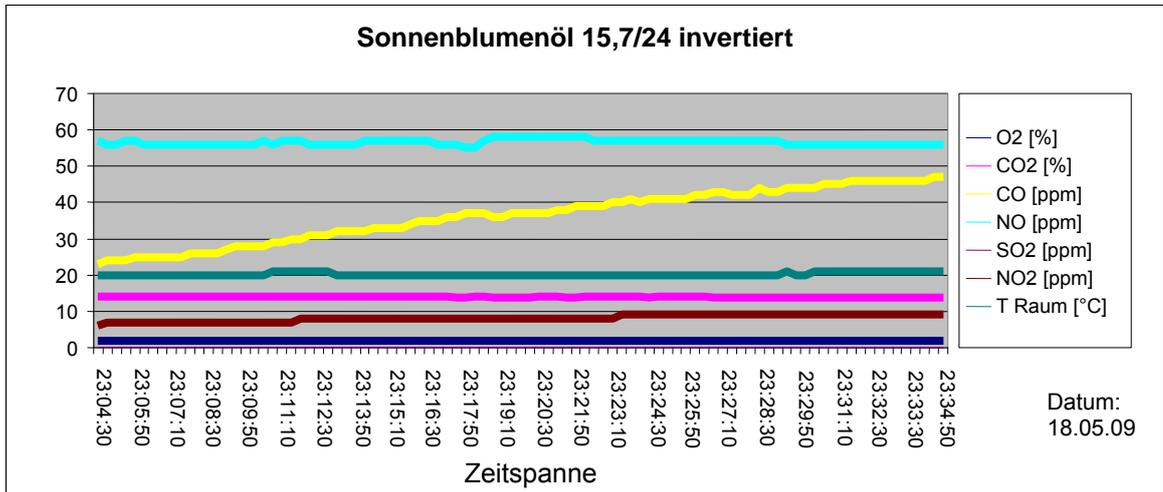


Abbildung 25: Prototyp II, Sonnenblumenöl

Die Messergebnisse der Abgaswerte waren weiterhin ähnlich wie bei dem Prototypen I gut. Allerdings zeigte sich bei den Messungen, dass das Invertieren der Luftführungshülle keine verbesserten Verbrennungsergebnisse gegenüber dem Prototypen I ergab. Die Kohlenmonoxid-Werte stiegen - zwar auf niedrigem Niveau - allerdings wegen Tröpfchenbildung stetig an.

Somit wurde dieser Prototypansatz verworfen.

Prototyp III

Für den weiteren Prototypen III wurde eine neue Konzeption mit neuer Bauform der SCHEER Mischeinrichtung vorgenommen. Dafür wurden zwei getrennte Gebläse eingesetzt, um den erforderlichen höheren Gebläsedruck zu realisieren. Das Flammenrohr sowie das Stammrohr erhielten eine neue Form.



Abbildung 26: Prototyp III

Dieser Prototyp brachte nicht das erhoffte Ergebnis. Das Flammenbild war suboptimal und führte dazu, dass die Flamme gelegentlich abbriss. Gerade bei diesem Prototypen zeigte sich, welchen großen Einfluss die Verdrallung der Verbrennungsluft auf das Mischungsverhalten hat.

Die Weiterverfolgung dieses Prototyps III wurde eingestellt.

Prototyp IV

Für den Prototypen IV wurde aus den bisherigen Messergebnissen eine neue SCHEER Mischeinrichtung 13,7 mit speziellem Drallgitter entwickelt, bei der eine zusätzliche Invertierung für eine Verbesserung der Luftverwirbelung sorgt.

Die Steuerung der Vorwärmzeiten erfolgte auch bei diesem Prototypen über ein Zeitrelais. Eine optische Flammenüberwachung wurde nicht eingesetzt, sondern es fand eine Ionisationsflammenüberwachung durch das Zündgerät mit Flammenerkennung (Hersteller: BERU) statt.

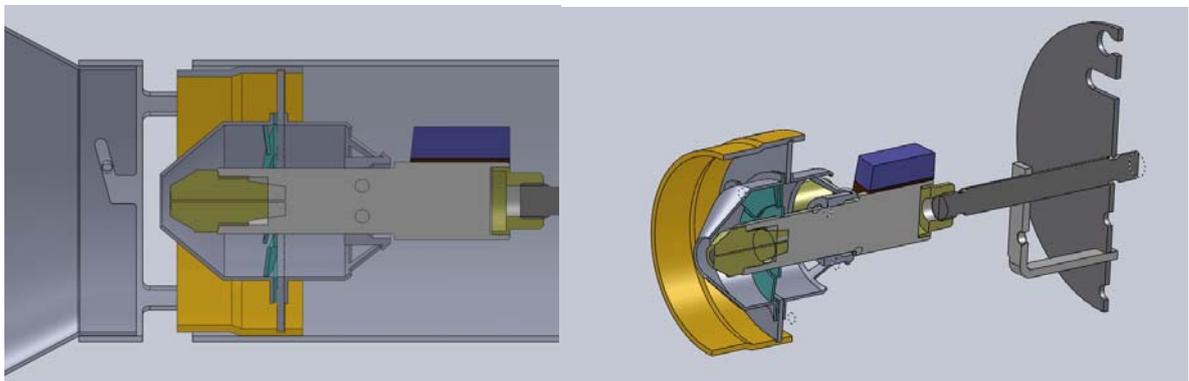


Abbildung 27: Prototyp IV, Mischeinrichtung

Mischeinrichtung: SCHEER 13,7/17,8 invertiert
Düse: Steinen 0,30/80° ST
Pumpenöldruck: Pöl=16 bar
Durchsatz 1,46 kg/h

Gebläsedruck: PGebläse =18,5 mbar
TWärmeerzeuger = 60 °C
TÖl = 21 °C
PStart = 4mbar

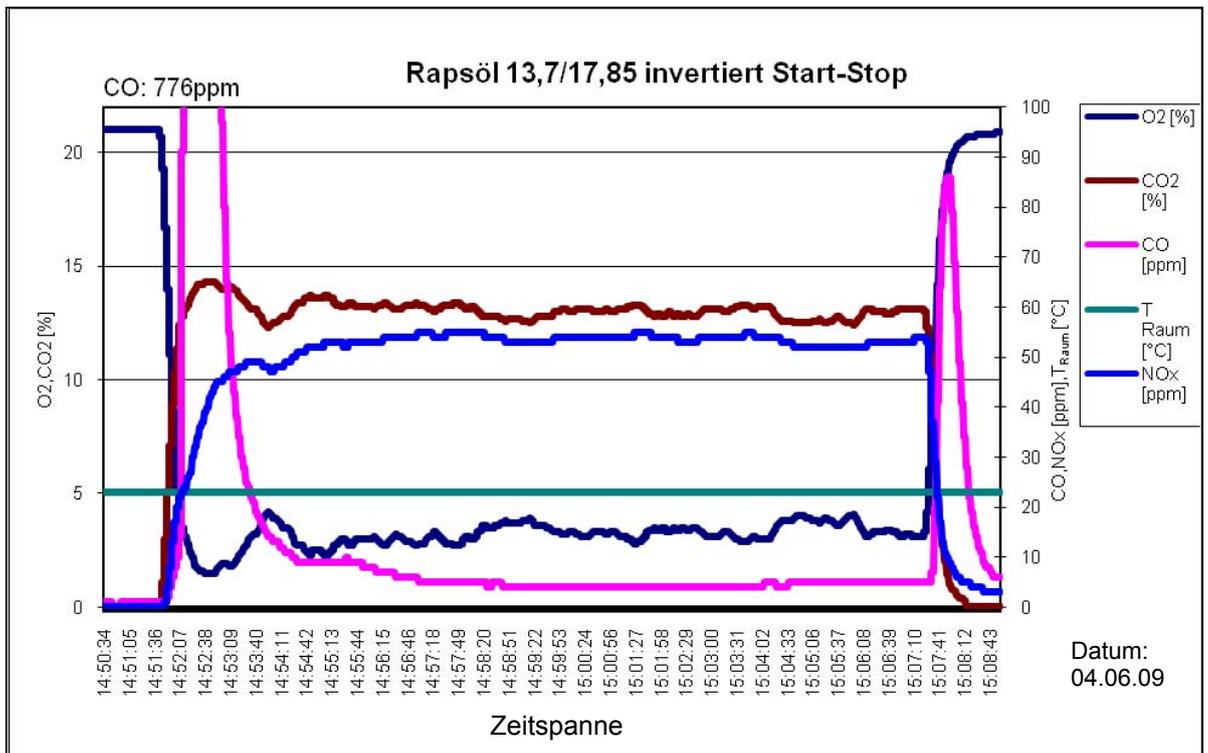


Abbildung 28: Prototyp IV, Rapsöl

Bei diesem Prototypen IV zeigten sich die Grenzwerte einhaltende höhere Startemissionen bei sehr guten Betriebsemissionen.

Der Langzeitversuch mit dem Prototyp IV wies allerdings bereits nach 13 Betriebsstunden starke Anhaftungen und Verschmutzungen (Verkokung) der Lufthülse, der Elektroden und des Grundträgers auf.



Abbildung 29: Langzeitversuch Prototyp IV, Mischeinrichtung

Bereits nach nur 15 Betriebsstunden war kein Brennerstart mehr wegen der starken Verschmutzung der Zündelektroden möglich. Die Mischeinrichtung war dabei stark verklebt.

Prototyp V

Für den Prototypen V wurde auf der Basis des Prototypen IV eine neue SCHEER Mischeinrichtung 13,7 ohne invertiertem Drallgitter eingesetzt. Die Steuerung der Vorwärmzeiten erfolgte über ein Zeitrelais. Es wurde keine optische Flammenüberwachung eingesetzt, die Ionisationsflammenüberwachung erfolgte durch das Zündgerät mit Flammenerkennung (Hersteller: BERU). Darüber hinaus erfolgte der erste Einsatz der neu entwickelten SCHEER Öldüse 025 80° SC mit integriertem Drop-Stop.

Mischeinrichtung: SCHEER 13,7/10,6
Düse: SCHEER 0,25; 80° SC
Pumpenöldruck: Pöl=16 bar
Durchsatz 1,46 kg/h

Gebäsedruck: P_{Gebäude} = 24,5 mbar
TWärmeerzeuger = 60 °C
TÖl = 23 °C
P_{Start} = 10 mbar

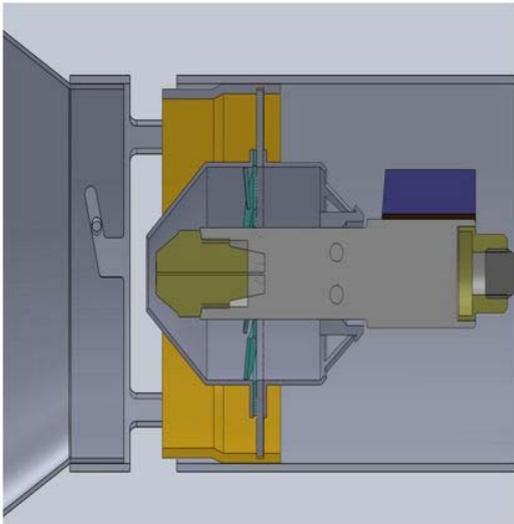


Abbildung 30: Prototyp V, Mischeinrichtung

Die Mischeinrichtung mit der neu entwickelten Düse brennt nun mit einer stabilen blauen Flamme.

Diese neue Mischeinrichtung erzeugte nunmehr ein stabiles Flammenbild durch einen optimalen Ölnebel. In der Kombination mit zwei in Reihe geschalteten Ölvorwärmern und der Öldüse SCHEER 0,25; 80° SC stellten sich ausgezeichnete Emissionswerte sowohl beim Start als auch beim Dauerbetrieb ein.

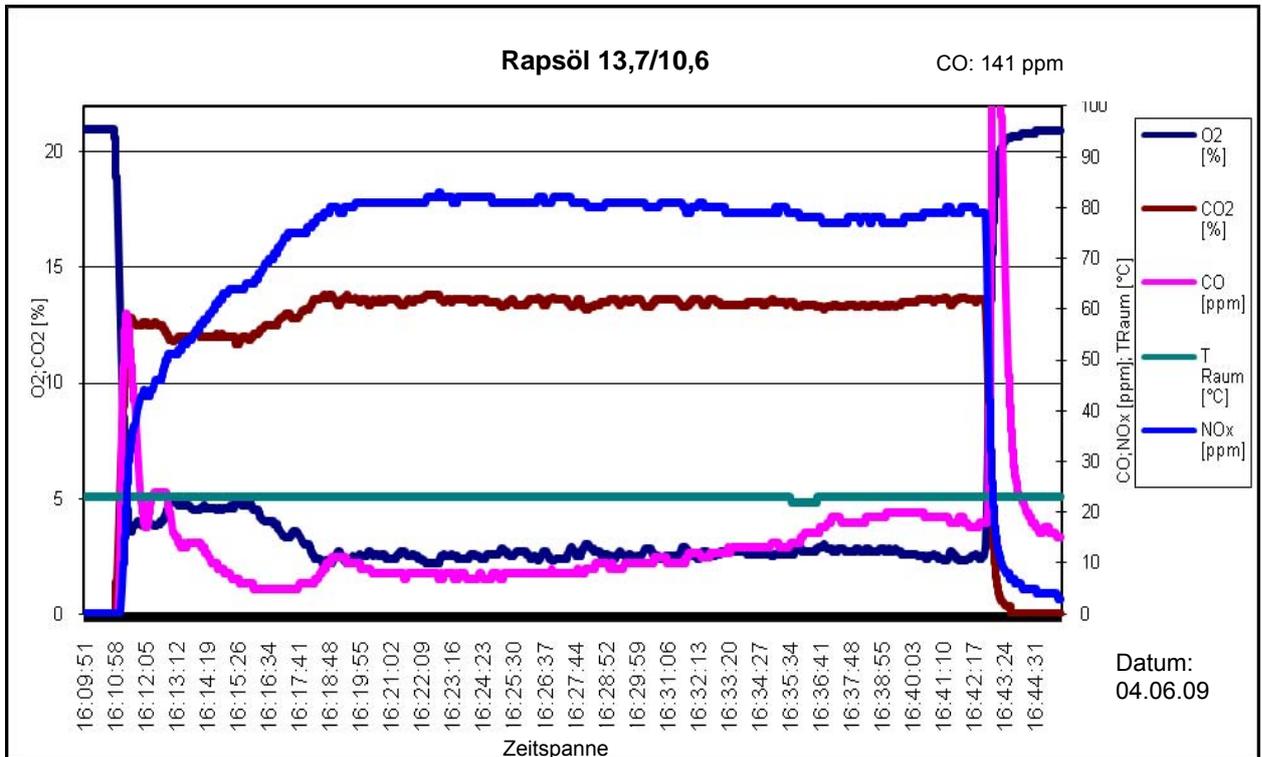


Abbildung 31: Prototyp V, Rapsöl

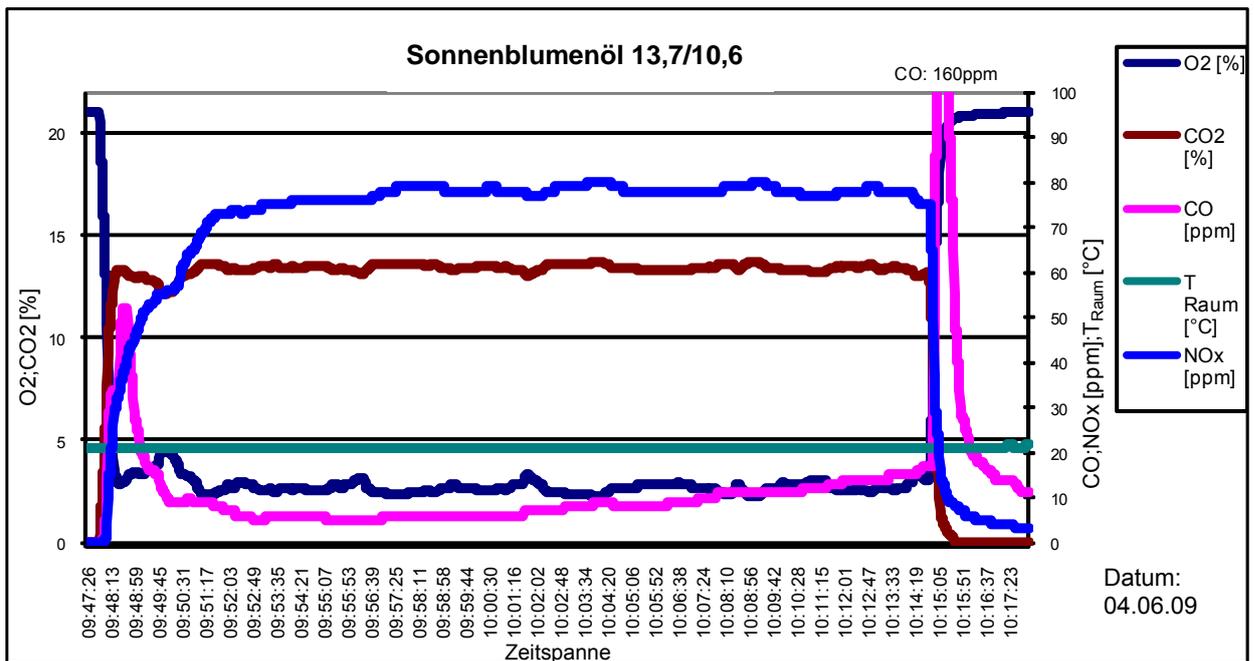


Abbildung 32: Prototyp V, Sonnenblumenöl

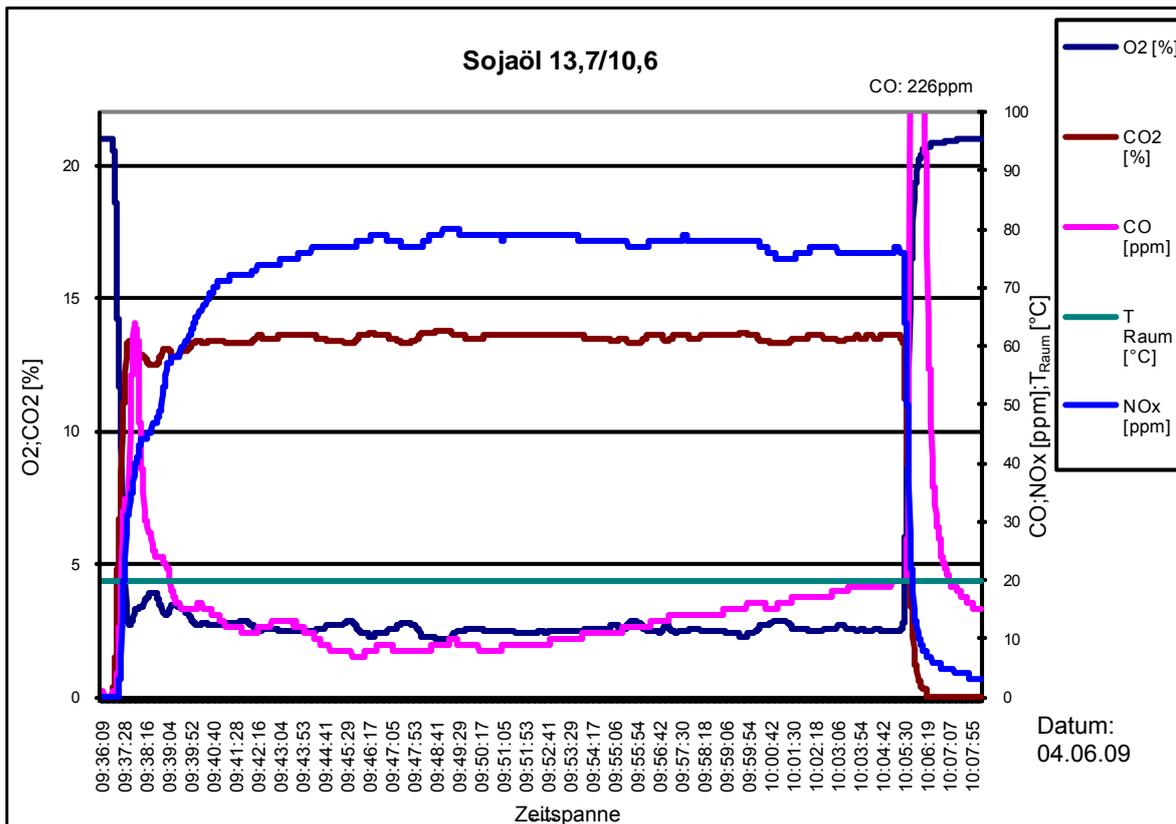


Abbildung 33: Prototyp V, Sojaöl

Die CO-Emissionswerte sind in allen Versuchen unabhängig vom Einsatz des Pflanzenöles unter 20 ppm geblieben.

Alle Emissionswerte unterschritten bei weitem die Grenzwerte der 1. BImSchV.

Insgesamt ergab sich, dass der Prototyp alle im Rahmen des Projektes formulierten Erfordernisse erfüllte. Deswegen wurde dieser Prototyp für die Feldversuche und Langzeitevaluation bestimmt.

Stellt man die aufgezeichneten Emissionen eines mit Sonnenblumenöl betriebenen Pflanzenölbrenners und eines heizölbetriebenen Brenners gegenüber, so stellt man fest, dass sie sich vor allem im NOx-Ausstoß unterscheiden.

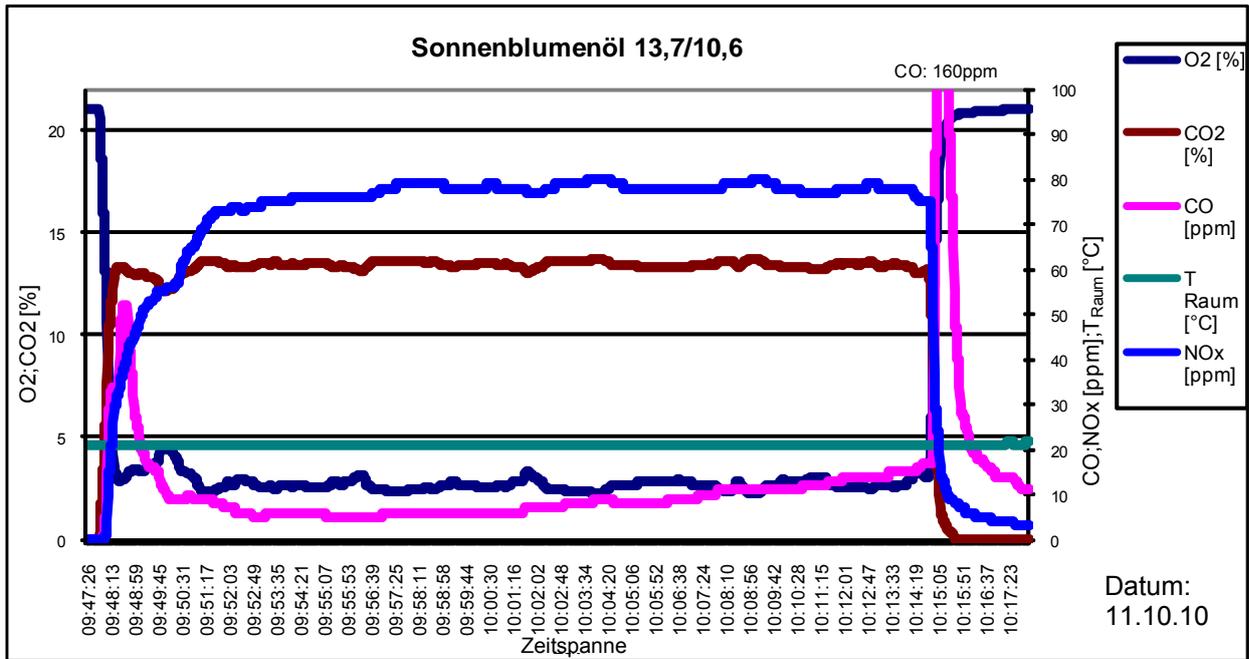


Abbildung 34: Versuch Sonnenblumenöl

Mischeinrichtung: SCHEER 13,1/15
 Düse: SCHEER 0,25; 80° SC
 Pumpenöldruck: Pöl = 14 bar
 Durchsatz 1,02 kg/h

Gebläsedruck: PGebälse = 27 mbar
 TWärmeerzeuger = 60 °C
 TÖl = 23 °C
 PStart = 10 mbar

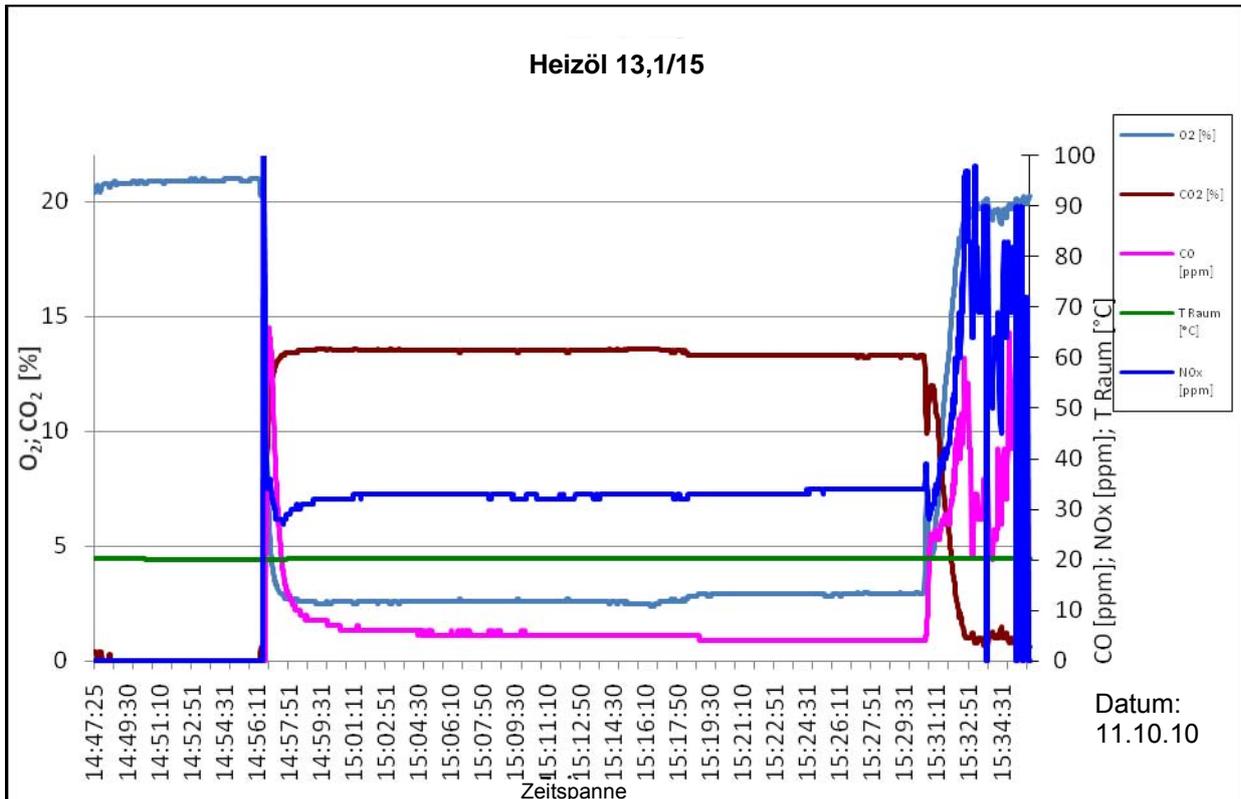


Abbildung 35: Versuch Heizöl EL schwefelarm

Die weiteren gemessenen Emissionswerte Sauerstoff, Kohlenstoff und Kohlenstoffdioxid des Pflanzenölbrenners und des Heizölbrenners liegen etwa bei den gleichen Werten.

Der Heizölbrenner emittiert während des Betriebs etwa 30 ppm Stickoxide, während die NO_x-Emissionswerte des Pflanzenölbrenners deutlich darüber bei etwa 80 ppm liegen. Dies scheint zunächst verwunderlich, da der Stickstoffgehalt vom hier verwendeten Heizöl EL schwefelarm mit etwa 7 mg/kg über dem von Pflanzenöl mit etwa 5 mg/kg liegt, lässt sich jedoch dadurch erklären, dass unterschiedliche Mischeinrichtungen bei den Versuchen verwendet wurden. Die Mischeinrichtungen sorgen für eine mischeinrichtungsspezifische Rezirkulation im Brenner, die zu unterschiedlich hohen Verbrennungstemperaturen führt. Eine höhere Verbrennungstemperatur hat zur Folge, dass mehr Stickoxide emittiert werden, so wie es in unseren Versuchen beim Sonnenblumenöl mit der Mischeinrichtung 13,7/10,6 der Fall war.

3.2 Feldversuche und Langzeitevaluation

Die im Rahmen des dritten Arbeitspakets „Prototypenbau“ errungenen Ergebnisse wurden in dem anschließenden vierten Arbeitspaket „Feldversuche und Evaluation“ auf der Basis des bevorzugten Prototypen V weiter überprüft und in den Laboranlagen unter betrieblichen Bedingungen im Langzeitverhalten untersucht.

Wichtige Voraussetzung für das Startverhalten von Pflanzenölbrennern ist die richtige Öltemperatur. Das Startverhalten wurde bei einer Öltemperatur von 130 °C bis 135 °C im Dauerbetrieb getestet und stellte sich als optimale Ausgangssituation für eine nahezu vollständige Verbrennung heraus. Für die Durchführung der Versuche wurden die Pflanzenöle Sonnenblumenöl, Rapsöl und Sojaöl ausgewählt.

Im Rahmen der Feldversuche wurden die einzelnen Brennerkomponenten auf ihre Veränderung durch den Einsatz von Pflanzenölen analysiert und dokumentiert.

Der Brenner Prototyp V wurde im Rahmen des Projekts 700 Stunden lang getestet, ohne dass an weiteren Komponenten wie z.B. Ölpumpe oder Ölvorwärmern verbrennungsrelevante negative Veränderungen eintraten. Die gewählte Dauer der Feldversuche entspricht etwa der Dauer einer Heizsaison. Deshalb ist es gesichert, dass mindestens eine vorgesehene Jahresinspektion stattfindet.

Die optimierte Öldüse SCHEER 0,25; 80° SC mit eingebautem Drop-Stop war auch nach 700 Betriebsstunden in einem guten Zustand. Kleinere Verklebungen bzw. Belege sind beim Einsatz von Pflanzenölen nicht vermeidbar. Im Brennerstillstand bzw. während der Beheizung der beiden Ölvorwärmer kommt es zu geringfügigen Ölaustritten an der Öldüse, die allerdings die Brennerfunktion nicht beeinflussen und zu keiner Brennerstörung führen.



Abbildung 36: Optimierte SCHEER Öldüse

Durch Optimierung der SCHEER Zündelektroden konnten wir erreichen, dass die Zündelektroden nach 700 Betriebsstunden frei von Verbrennungsrückständen sind.



Abbildung 37: SCHEER Zündelektroden

An der Ölvorwärmung I vom Typ FPHB 10 (Hersteller: Danfoss) waren schwache Verharzungen (Verschmutzung) zu erkennen. Diese sind nur äußerlich und haben nur einen optischen Einfluss. Eine Beeinträchtigung der Funktion ist nicht gegeben. Während der Langzeitevaluation wurden die Temperaturen regelmäßig kontrolliert. Die Öltemperatur blieb gleichmäßig bei 120 °C.



Abbildung 38: Ölvorwärmung I

Der zweite Vorwärmer vom Typ SOVB (Hersteller: Honeywell) sorgt für eine Temperatur von ca. 135 °C im Start und bis ca. 145 °C im Betrieb. Die Ölvorwärmung II ist nach 700 Betriebsstunden ohne Beeinträchtigung funktionsfähig. Es sind keine optischen Veränderungen vorhanden.



Abbildung 39: Ölvorwärmung II

Durch den Einsatz von zwei Ölvorwärmern ist der durchschnittliche elektrische Energieverbrauch im Vergleich zu einem herkömmlichen Heizölbrenner allerdings recht hoch. Im Durchschnitt hat ein konventioneller Heizölbrenner einen Energieverbrauch von 250 Watt pro Stunde. Der Prototyp V liegt mit rund 435 Watt pro Stunde bei einem etwa doppelt so hohen Energieverbrauch.

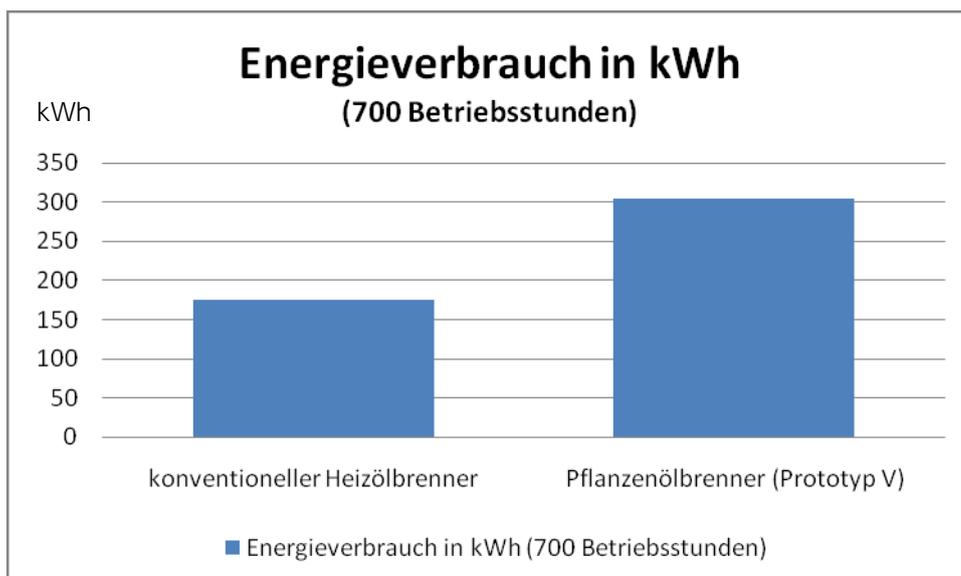


Abbildung 40: Vergleich Energieverbrauch

Bei 700 Betriebsstunden beläuft sich der Energieverbrauch eines konventionellen Heizölbrenners insgesamt auf etwa 175 kWh (700 Betriebsstunden multipliziert mit dem stündlichen Energieverbrauch von 250 Watt), während der Energieverbrauch des Pflanzenölbrenners Prototyp V sogar bei etwa 305 kWh liegt (700 Betriebsstunden multipliziert mit dem stündlichen Energieverbrauch von 435 Watt).

Die Pflanzenölpumpe SUNTEC AT2V45D war auch nach 700 Betriebsstunden ohne Rückstände im Filter im einwandfreien Zustand. Dies ist zurückzuführen auf eine einwandfreie Vorfilterung.



Abbildung 41: Pflanzenölpumpe

Der Ölschlauch EMÜ-diff weist im Gewindebereich kleine Verharzungen auf. Diese sind aber nicht im ölführenden Bereich vorhanden.



Abbildung 42: Ölschlauch

An der Verschraubung der Öldruckleitungen zeigen sich äußerliche Verharzungen (Verschmutzungen), die aber nicht in der ölführenden Zuleitung nachzuweisen sind.



Abbildung 43: Öldruckleitung, Verschraubung

Das Feinstfilterelement Nr. 1 457 434 201 (Hersteller: Bosch) in Kombination mit dem Kunststoffsternenfilter (Hersteller: Oventrop) hat sich als optimale Kombination erwiesen.



Abbildung 44: Filter mit automatischer Entlüftung

Der Filter ist auch nach den 700 Betriebsstunden der Feldversuche in einem einwandfreien Zustand. Ein jährlicher Filtertausch ist dennoch für einen Betrieb von Pflanzenölbrennern zwingend empfehlenswert.

4. Fazit

Das in Deutschland bestehende Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 hat das bis dahin geltende Mineralölsteuergesetz abgelöst. Das Gesetz regelt die Besteuerung aller Energiearten sowohl fossiler Herkunft als auch nachwachsender Energieerzeugnisse wie Pflanzenöle, Biodiesel und Bioethanol sowie synthetische Kohlenwasserstoffe aus Biomasse als Heiz- oder Kraftstoff in Deutschland.

Die Energiesteuer ist als Verbrauchsteuer eine indirekte Steuer. Biodiesel und Pflanzenöle, welche als Heizstoff verwendet werden, unterlagen bis zum 31.12.2009 keiner steuerlichen Belastung. (§ 50 (1) EnergieStG).

Seit dem 01.01.2010 werden Biodiesel und Pflanzenöle wie Rapsöl zur Verwendung als Heizstoff nach § 2 (3) Nr. 1 in Verbindung mit § 2 (4) EnergieStG wie leichtes Heizöl mit 6,135 ct/l besteuert.⁸ Damit ist der Markt für Pflanzenölbrenner stark eingebrochen.

Der im Rahmen des Projekts neu entwickelte Brenner SCHEER „NATURA-RAPS“ zeigte im betrieblichen Einsatz sehr gute Laufeigenschaften mit ausgezeichneten Abgaswerten und kann somit in den Markt eingeführt werden. Dabei ist es allerdings erforderlich, durch Marketingmaßnahmen einen Kundenkreis zu erreichen, der dazu bereit und in der Lage ist, die durch die derzeitige Besteuerung der biogenen Pflanzenöle in Deutschland die höheren Betriebskosten für die Brennstoffe in Kauf zu nehmen und somit für die Beheizung seiner Räume einen höheren Betrag zu zahlen als es beim Einsatz von fossilen Brennstoffen derzeit der Fall ist.

8

http://www.bundesfinanzministerium.de/nn_55228/DE/BMF__Startseite/Service/Glossar/E/012__Energiesteuer.html

Literaturverzeichnis

Internetpublikationen

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz für Neubauten, Online im Internet: URL: <http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/62541/>;
Stand: 2010-05-11; 11:00 Uhr

Bundesverband Pflanzenöle e.V.; Die Stellung von Pflanzenöl im Vergleich mit anderen biogenen Kraftstoffen, Online im Internet: URL: http://www.bv-pflanzenoele.de/pdf/energie_pflanzen_VI-O6.pdf;
Stand: 2010-05-11, 11:00 Uhr

Weihenstephan-Kriterien: Online im Internet: URL:
<http://www.elsbett.com/fileadmin/elsbett/archiv/de/weihenstephan.pdf>, Stand: 2010-06-26, 15:00 Uhr

Bundesfinanzministerium, Energiesteuer, Online im Internet: URL:
http://www.bundesfinanzministerium.de/nr_55228/DE/BMF_Startseite/Service/Glossar/E/012_Energiesteuer.html, Stand: 2010-06-30, 13:00 Uhr

1. BImSchV, Online im Internet: URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_1_2010/index.html,
Stand: 2010-06-30, 13:00 Uhr

Energiesteuergesetz, Online im Internet: URL:
<http://www.gesetze-im-internet.de/energiestg/index.html>, Stand: 2010-06-30, 13:00 Uhr

http://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_1_2010/index.html, Stand: 24.06.2010

http://www.gesetze-im-internet.de/bimsv_1_2010/_6.html, Stand: 24.06.2010