

## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

Verwendung von Biomasse zur Energieversorgung

Flüssige Brennstoffe:

Pflanzenöle, veresterte Pflanzenöle oder Fette (FAME – Fatty Acid Methyl Ester, Biodiesel) oder synthetische Öle aus Biomasse (BTL – Biomass To Liquids)

DIN EN 14213 für FAME als Heizöl oder Blendkomponente

DIN V 51603-6 für Heizöl EL A mit zulässigem FAME als Mischkomponente

Forschungsprojekt für das **Institut für wirtschaftliche Oelheizung (IWO), Hamburg:**

Langzeitversuche mit Heizöl EL schwefelarm + 20% v/v FAME

Simulation kompletter Heizperioden mit zwei Öl-Brennwertkesseln parallel

Verwendbarkeit der Biobrennstoffe in bestehenden Brenner- und Verdampfertechnologien, Betriebssicherheit

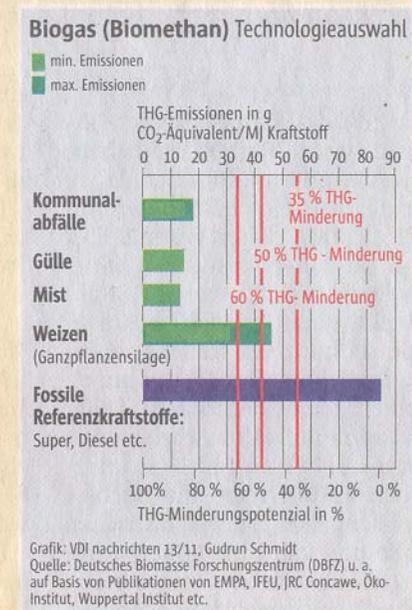
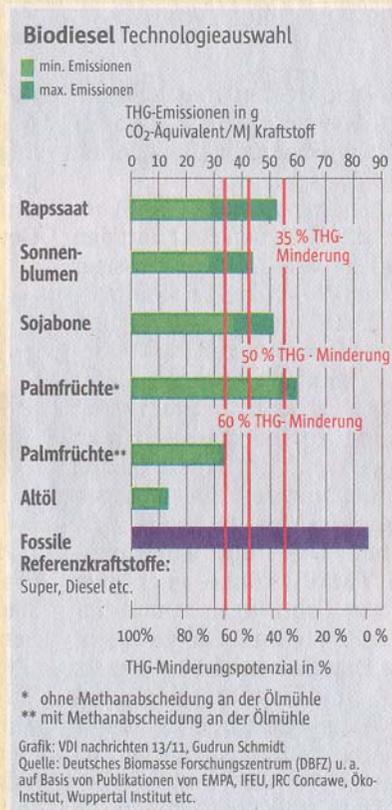
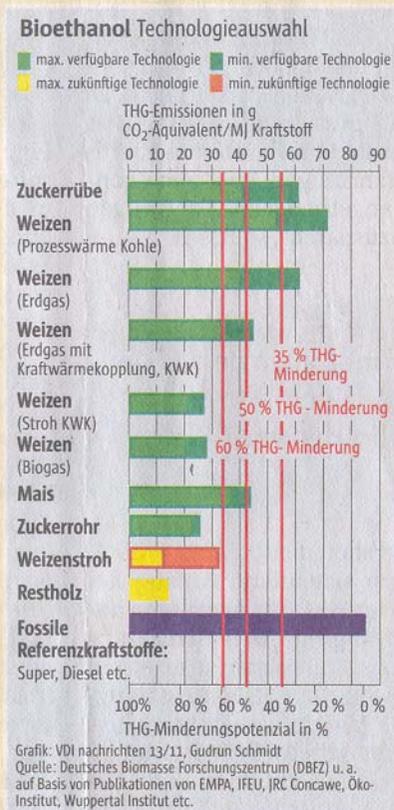
Oxidationsstabilität, Materialverträglichkeit, Ablagerungsbildung, Emissionen und Wirkungsgrade

Kupfer: vorzeitige Alterung der biogenen Komponente

Kunststoffe: Veränderung der Eigenschaften

# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Emissionen von Treibhausgasen (THG) bei Biokraftstoffen aus unterschiedlicher Herstellung

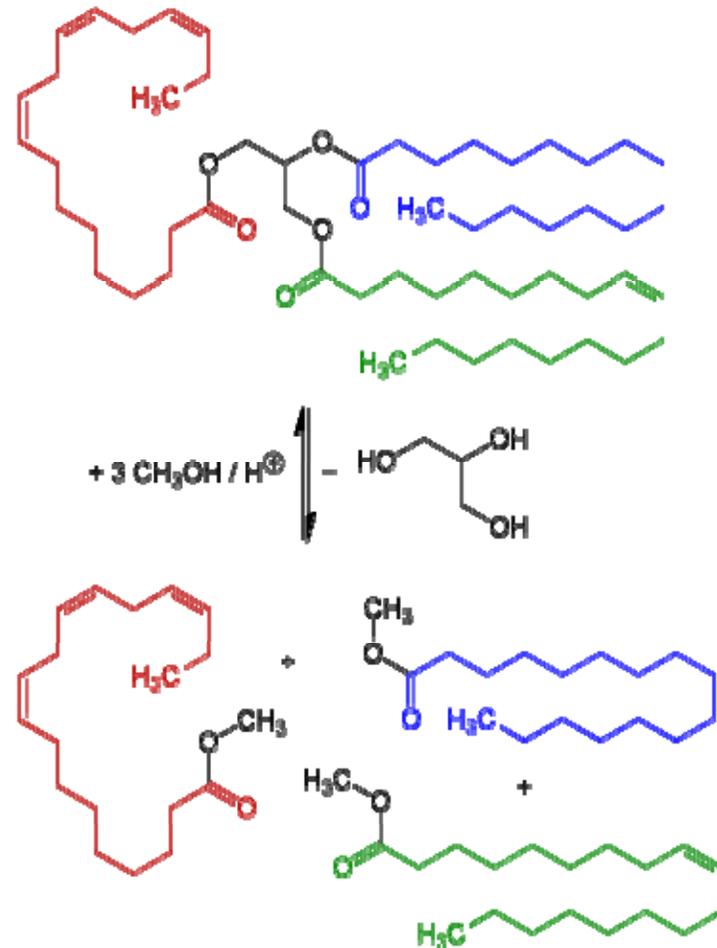


**Die THG-Bilanzen zeigen, alle Biokraftstoffe erfüllen bereits das 35%-Ziel, sofern keine indirekten Landnutzungsänderungen stattfinden – außer Bioethanol auf Weizenbasis (Prozesswärme Kohle oder Erdgas) und Biodiesel aus Palmöl.**

# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

Herstellung von FAME (Fettsäuremethylester)

Säurekatalysierte Umesterung von Fetten und Ölen  
(Triglyceriden),  
Austausch von Glycerin gegen Methanol



## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

### Oxidationsstabilität

Die Bestimmung der Oxidationsstabilität (OS) erfolgt mit dem „Rancimat®“, wobei bei 110 °C die Alterung des Öls forciert wird.

Über ein Molekularsieb wird ein Luftstrom (10 l/h) in die Proben eingeleitet. Die entstehenden gasförmigen Oxidationsprodukte werden in eine mit Reinstwasser gefüllte Messzelle überführt, in der mit einer Elektrode kontinuierlich die Messung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgt. Das Ende der Induktionsperiode, also der Zeitspanne zwischen dem Beginn der Messung und der Bildung der Oxidationsprodukte, wird durch den sprunghaften Anstieg der Leitfähigkeit angezeigt. Die Zunahme der freien Ladungsträger in der Messzelle ist durch die Absorption und anschließende Dissoziation der flüchtigen Carbonsäuren im Reinstwasser zu erklären. Die Auswertung der Messkurve kann manuell über die Festlegung des Tangentenschnittpunktes bzw. automatisch über die Bestimmung des Maximums der zweiten Ableitung erfolgen. Als Oxidationsbeständigkeit wird die Länge der Induktionsperiode in Stunden angegeben.

(Harndorf et al., Uni Rostock, 2008)

## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

Fünfter Langzeitversuch:

Vergleich von Kupfer-Einstrang- und Kupfer-Zweistrang-Ölversorgungen mit nahezu gleichen Heizölblends aus HEL schwefelarm und 20% FAME

mit Bioheizöladditiv

Die Mischung ist für beide Kessel mit gleichem FAME angesetzt und 6 Monate vorgelagert worden. Während 3 der 6 Monate sind in die Mischung für Kessel 1 zwei Kupferrohrstücke (2 x 1.2 m je 1.000 l) und für Kessel 2 ein Kupferrohrstück (1 x 1.2 m je 1.000 l) versenkt worden - von dem Material, wie es auch für die Ölleitungen am Prüfstand verwendet wird.

Simulation der Heizperiode (Winterbetrieb) mit auf 15 Stunden verkürzten Tageszyklen

Sommerbetriebsphase nur mit Trinkwassererwärmung

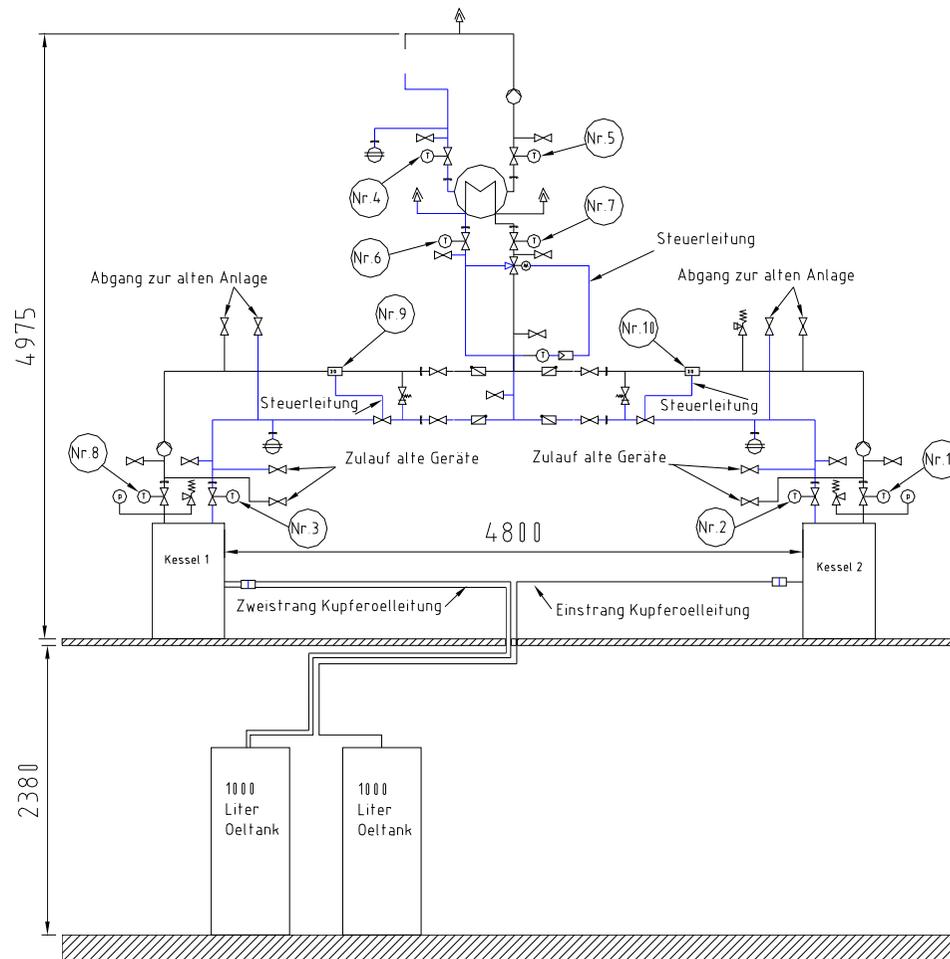
# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Parametervergleich aller Langzeitversuche

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5
FAME – Qualität (20% in HEL schwefelarm)	3 Monate alt, Oxidationsstabilität 8 h	frisch, Oxidationsstabilität 3.5 h (entspricht nicht DIN EN 14214)	Kessel 1: frisch (OS 8.4h) Kessel 2: ½ Jahr gelagert (OS 2.5 h), mit Stabilitätsadditiv	3 Monate vorgelagert mit K 1: 2 Kupferrohrstücken K 2: 1 Kupferrohrstück	6 Monate vorgelagert, 3 davon wie in Versuch 4, mit Bioheizöladditiv
Ölansaugsystem	übliche schwimmende Kunststoff - Tankentnahmeeinrichtung mit Fuß- und Rückschlagventil, Kessel 1: Einstrang - Edelstahlleitung, Kessel 2: Einstrang - Kupferleitung, Filz - Vorfilter	Metalleitungen bis ca. 10 cm über dem Tankboden ohne Fußventil, Kessel 1: Einstrang - Edelstahlleitung, Kessel 2: Einstrang - Kupferleitung, Kunststoffsinter - Vorfilter	übliche schwimmende Kunststoff - Tankentnahmeeinrichtung mit Fuß- und Rückschlagventil, Einstrang - Kupferleitungen, Kunststoffsinter - Vorfilter	wie in Versuch 3, jedoch Kessel 1: Zweistrang- Kupferleitung Kessel 2: Einstrang- Kupferleitung	wie in Versuch 4
Heizprogramm	periodisch 5' an / 5' aus, Vorlauf 55 °C, Rücklauf 45 °C, einmal täglich 40' Trinkwassererwärmung bei Vorlauf 60 °C 2.700 l Öl je Kessel	periodisch 5' an / 5' aus, Vorlauf 55 °C, Rücklauf 45 °C, einmal täglich 40' Trinkwassererwärmung bei Vorlauf 80 °C, 2.850 l Öl je Kessel	periodisch 5' an / 5' aus, Vorlauf 55 °C, Rücklauf 45 °C, in 15 h einmal 25' und zweimal 8' Trinkwassererwärmung bei Vorlauf 80°C, in 15 h einmal 29' Nachtabsenkung, 2.700 l Öl je Kessel	wie in Versuch 3	wie in Versuch 3, zusätzlich Sommerbetrieb: 25' an / 25' aus, sowie zweimal 8' an / 22' aus, bei Vorlauf 80°C, 3.000 l Öl je Kessel
Fazit	störungsfreier Betrieb	zahlreiche Störungen, kein Unterschied bzgl. des Leitungsmaterials	weitgehend störungsfrei	störungsfrei	störungsfrei

# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Übersichtsplan und Ansicht der Heizungsanlage (Kessel Brötje SOB 22)



## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

Sommerbetrieb:

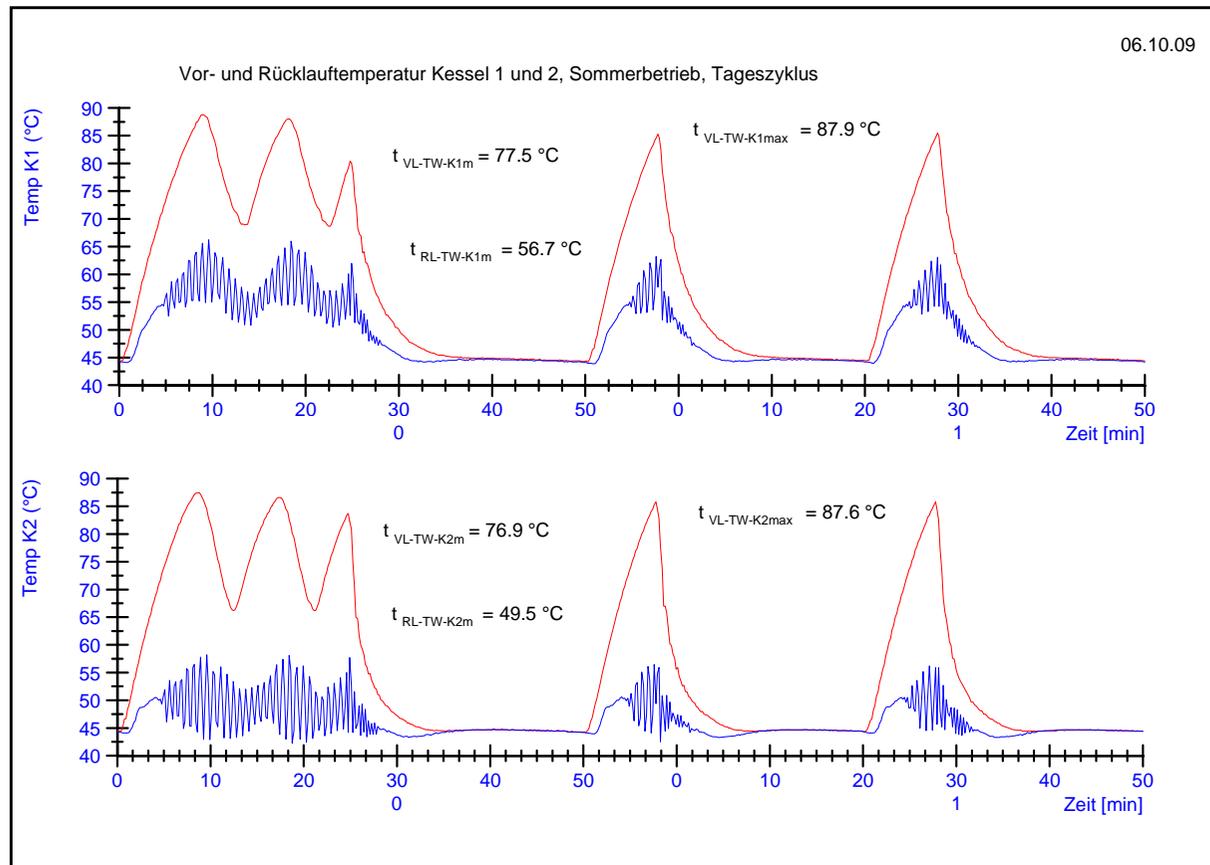
Ein Tageszyklus war auf 1 Stunde und 50 Minuten verkürzt und bestand aus einer Trinkwassererwärmung von 25 Minuten, gefolgt von 25 Minuten Stillstand, und aus zwei Trinkwassererwärmungen von 8 Minuten, jeweils gefolgt von 22 Minuten Stillstand. Eine Vorlauftemperatur von  $t_{VL} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde angestrebt.

Heizperiode:

Die Heizperiode wurde mit Tageszyklen simuliert, die auf 15 Stunden verkürzt waren. Der Grundablauf war periodisch mit einer Dauer von 10 min, d.h. jeweils 5 min war Brennerbetrieb und 5 min Stillstand (Teil 1). Dazu kamen alle 5 Stunden Trinkwassererwärmungsphasen – einmal pro Zyklus über 25 Minuten und zweimal über 8 Minuten (Teil 2). Ferner gab es eine Nachtabsenkung von 29 Minuten. Der Betrieb für Teil 1 lief vorrangig bei einer Vorlauftemperatur von  $t_{VL} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$  und bei einer Rücklauftemperatur von  $t_{RL} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ab. Für Teil 2 wurde eine Vorlauftemperatur von  $t_{VL} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  angestrebt.

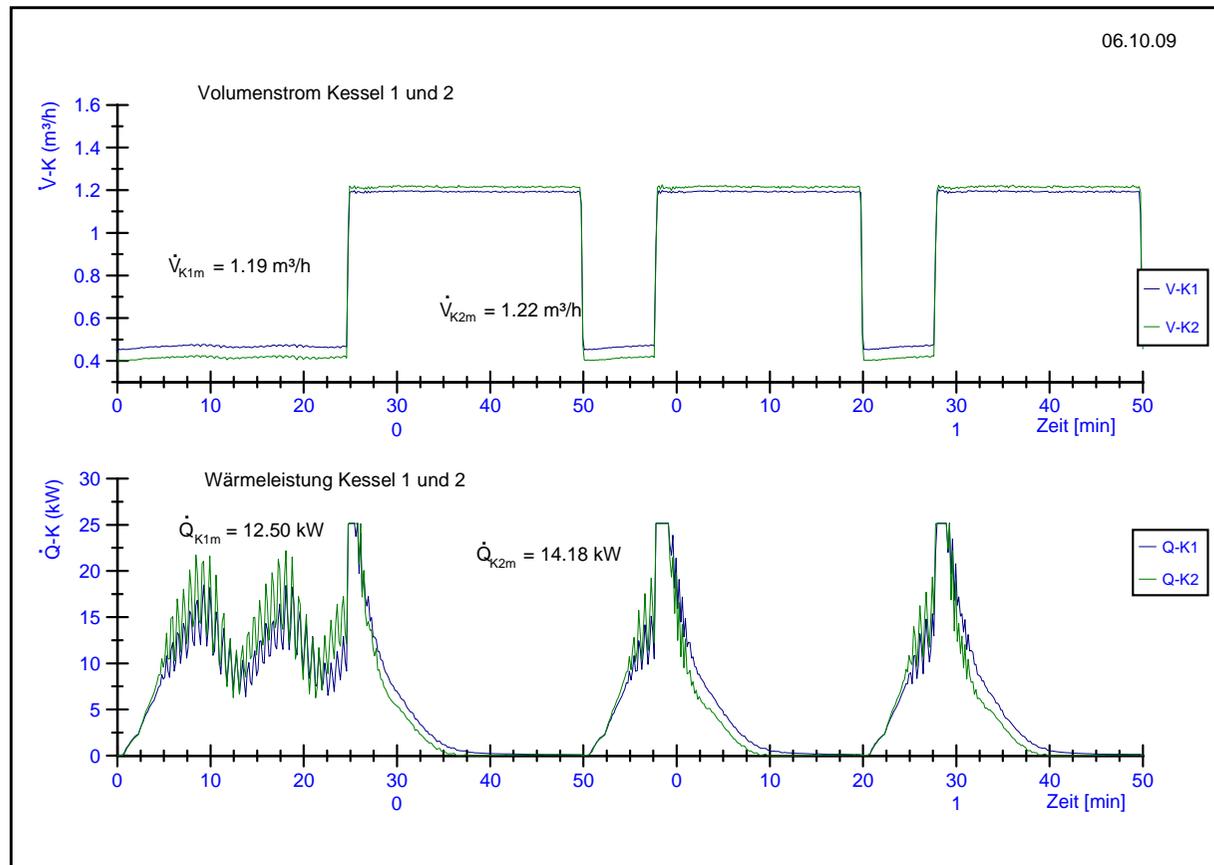
# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Vor- und Rücklauftemperaturen Sommerbetrieb



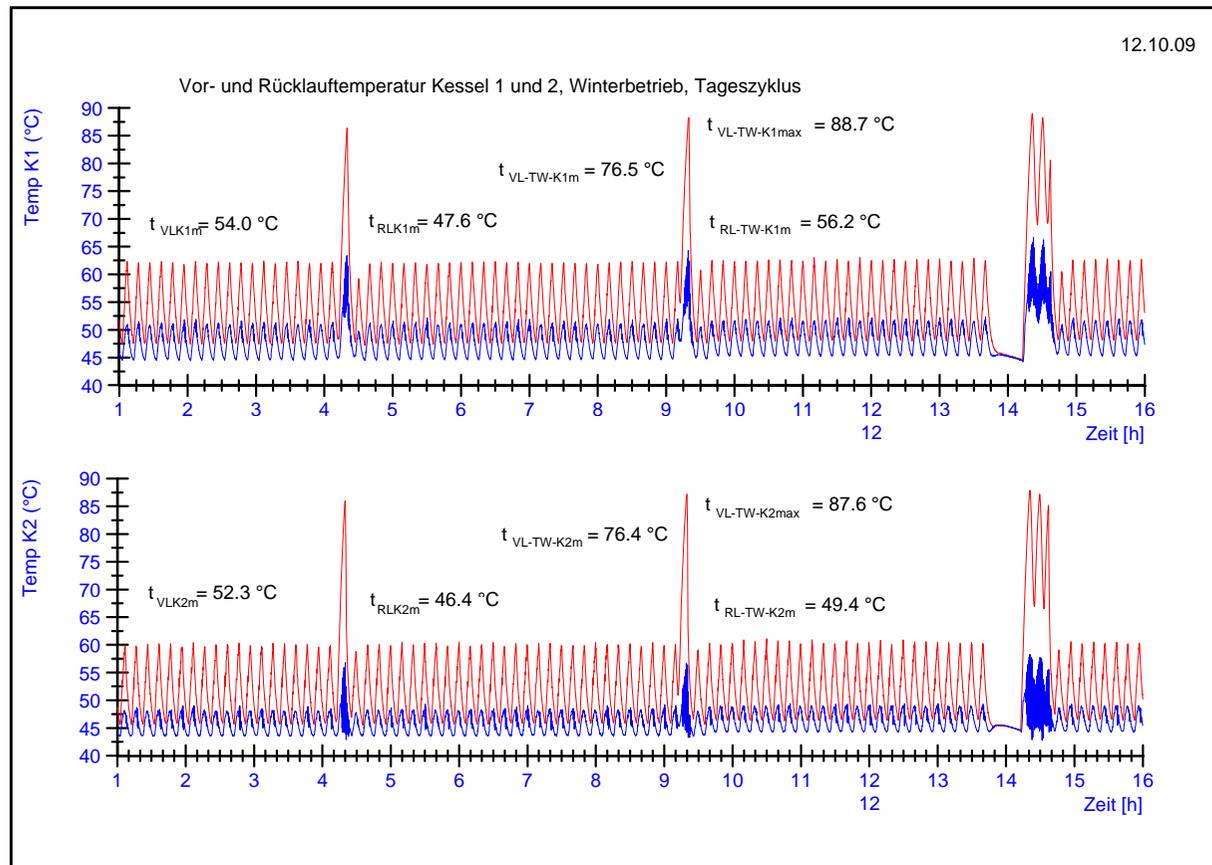
# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Volumenströme und Wärmeleistungen Sommerbetrieb



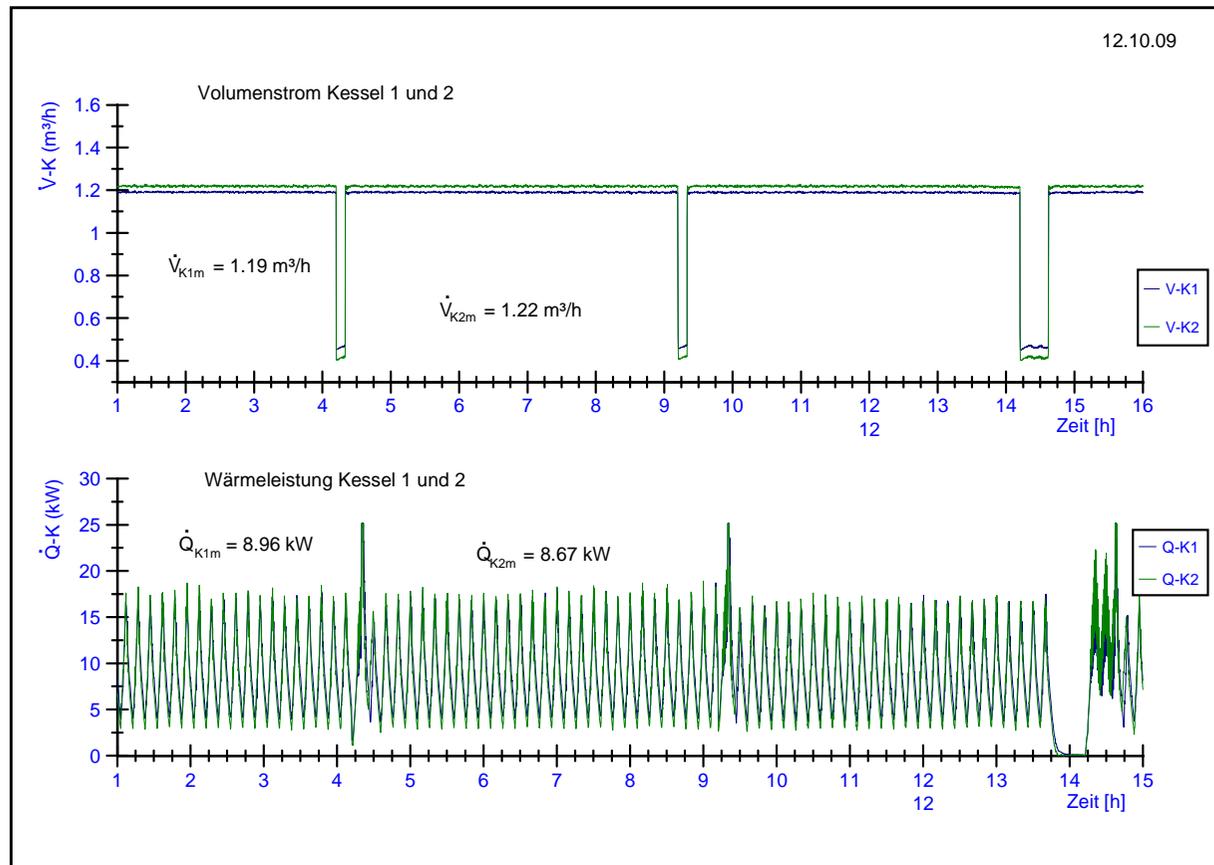
# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Vor- und Rücklauftemperaturen Winterbetrieb



# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Volumenströme und Wärmeleistungen Winterbetrieb



## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

### Tagebuch des Versuchsverlaufs

Nr.	Datum	Bemerkungen
	09.09.09	Öltankreinigung durch Firma TAR
	23.09.09	Kesselreinigung und Neueinmessung durch Firma Brötje
1	30.09.09	Start des Versuchs Nr. 5 mit Sommerbetrieb um 13:50
2	14.10.09	Unterbrechung des Versuchs zur Überprüfung eines Drucksensors von ca. 11:00 bis 12:30 Uhr
3	19.10.09	Drucksensor K1 überprüft - in Ordnung, Kondensatleitung Kessel 2 gespült und neu abgedichtet, Leistungsmessgerät für Kessel 1 überprüft und Fehler beseitigt
4	09.11.09	Messreihe wegen Stromausfall unterbrochen
6	10.11.09	Neues Öl aufgefüllt
5	19.11.09	Messreihe wegen Stromausfall 1 Tag unterbrochen
7	18.12.09	Von ca. 9:20 bis 10:00 Uhr Abschaltung der Anlage wegen Reparatur der Sekundärkreispumpe
8	22.12.09	Neues Öl aufgefüllt
9	17.02.10	Ende des Versuchs bei Kessel 2 ca. 21:00 Uhr
10	18.02.10	Ende des Versuchs bei Kessel 1 ca. 00:00 Uhr
12		Ausfall der Sekundärkreispumpe

## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

### Versuchsauswertung

Wärmeleistung:  $\dot{Q} = \dot{V} \rho c_p (t_{VL} - t_{RL})$

Abgasmessung: Die primären Messgrößen sind O<sub>2</sub>-Gehalt, Abgastemperatur AT, Verbrennungslufttemperatur VT, CO- und NO-Gehalt. Abgeleitet werden daraus:

$$CO_2 = CO_{2max} \frac{21\% - O_2\%}{21\%} \quad \text{mit} \quad CO_{2max} = 15.4\% \quad \text{für HEL}$$

$$\lambda = \frac{CO_{2max}}{CO_2}$$

$$CO_{unverdümt} = CO \cdot \lambda$$

$$NO_x = NO \cdot 1.05$$

$$qA = (AT - VT) \cdot \left( \frac{A2}{21\% - O_2} + B \right) \quad \text{mit} \quad A2 = 0.68, \quad B = 0.007 \quad \text{für HEL}$$

(ohne ungenutzte Kondensationswärme bezogen auf den Heizwert!)

## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

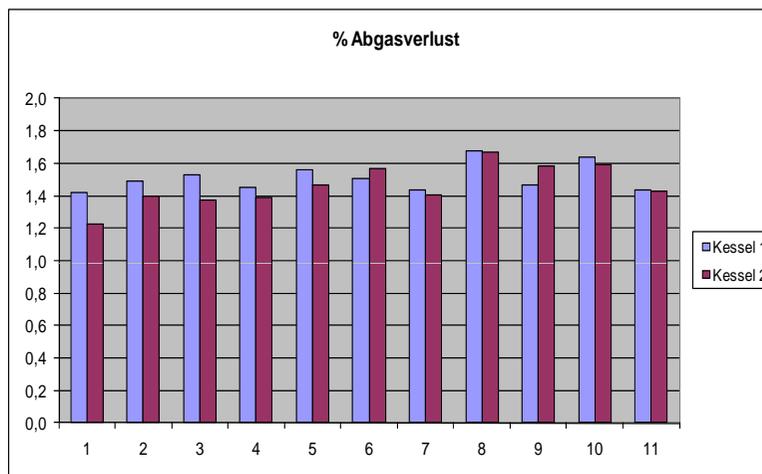
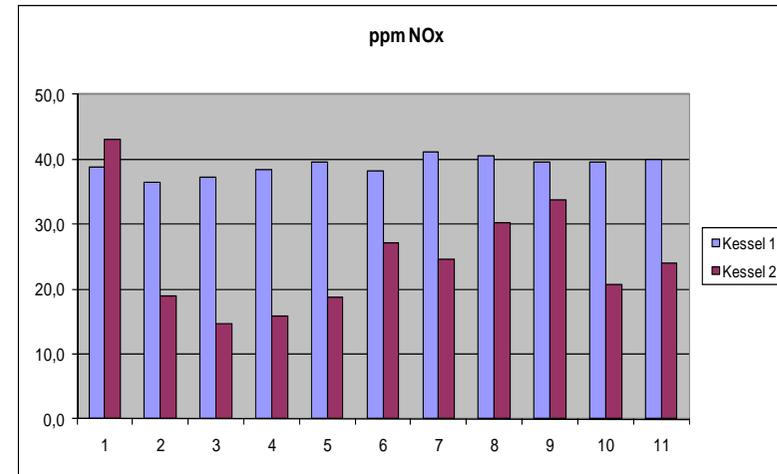
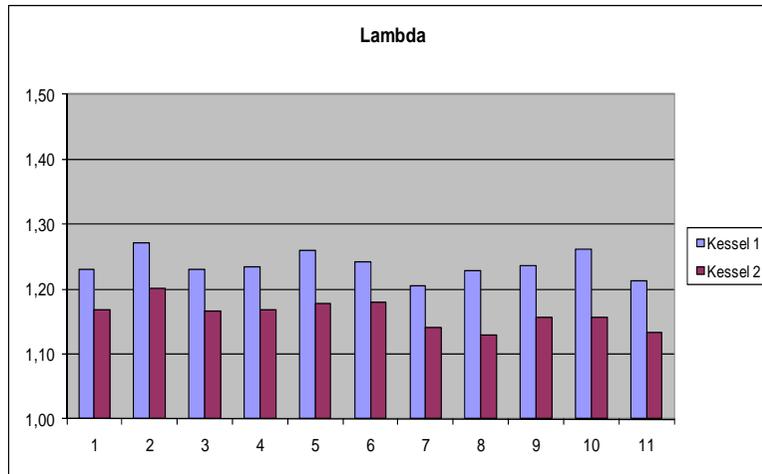
---

### Versuchsauswertung

Wirkungsgrad:	Massenanteil Wasserstoff im Heizöl	$h = 0.13$
	Max. Wasserdampf im Abgas	$V_{AH_2O_{max}} = 11.11 h = 1.46 m_N^3 / kg_{öl}$
	Dichte Heizöl	$\rho_{öl} = 0.84 kg/l$
	Verbrannte Masse Heizöl je Kessel	$m_{öl} = 3000 \rho_{öl} = 2520 kg$
	Erzeugte Masse Wasser je Kessel	$m_{H_2O} = V_{AH_2O_{max}} m_{öl} \frac{18 kg/kmol}{22.414 m_N^3/kmol} = 2955 kg$
	Ungenutzte Kondensationswärme	$Q_{Kond,ung} = (m_{H_2O} - m_{Kond}) 2.442 MJ$
	Energieausnutzung, bezogen auf Brennwert	$\eta = 1 - qA \frac{H_i}{H_s} - \frac{Q_{Kond,ung}}{m_{öl} H_s}$

# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

## Luftverhältniszahlen, Stickoxide und Abgasverluste an 11 Messtagen



## Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

### Ungenutzte Kondensationswärme und Energieausnutzung

Kessel 1:

Ungenutzte Kondensationswärme  $Q_{Kond,ung} = (2955 - 589) 2.442 \text{ MJ} = 5778 \text{ MJ}$

Energieausnutzung  $\eta = 1 - q_A \frac{H_i}{H_s} - \frac{Q_{Kond,ung}}{m_{\text{Öl}} H_s} = 0.936$

Kessel 2:

Ungenutzte Kondensationswärme  $Q_{Kond,ung} = (2955 - 585) 2.442 \text{ MJ} = 5788 \text{ MJ}$

Energieausnutzung  $\eta = 1 - q_A \frac{H_i}{H_s} - \frac{Q_{Kond,ung}}{m_{\text{Öl}} H_s} = 0.936$

$(H_i = 42.78 \text{ MJ/kg}, H_s = 45.67 \text{ MJ/kg})$

# Fünfter Langzeitversuch mit einem biogenen Brennstoffblend

---

## Zusammenfassung

An zwei parallel betriebenen baugleichen Öl-Brennwertkesseln (Brötje SOB22) wurde ein fünfter Langzeitversuch mit einem Heizölblend aus 80% HEL-SA und 20% FAME durchgeführt. Es wurden ein Sommerbetrieb mit Trinkwassererwärmung und eine Heizperiode mit Trinkwassererwärmung und Nachtabsenkung simuliert. Der Heizkreis hatte eine Vorlauf-Temperatur von 55 °C und eine Rücklauf-Temperatur von 45 °C. Die Trinkwassererwärmung wurde mit einer Vorlauf-Temperatur von 80 °C durchgeführt. Je Kessel wurden 3.000 l Öl verbrannt.

- Die parallelen Anlagen hatten einmal eine Zweistrang-Ölversorgung und einmal eine Einstrang-Ölversorgung, jeweils mit Kupferleitungen.
- Das Prüföl war für beide Kessel mit gleichem FAME incl. Bioheizöladditiv angesetzt und 6 Monate vorgelagert worden. Während 3 der 6 Monate wurden für den Zweistrang versorgten Kessel zwei Kupferrohrstücke mit eingelegt und für den Einstrang versorgten Kessel eins.
- Die übliche Tankentnahme-Einrichtung mit Rückschlagventil und schwimmender Absaugung mit Kunststoff-Leitung wurde verwendet.
- Als Vorfilter kamen sternförmige Kunststoff-Sinterfilter zum Einsatz.
- Das anfallende Kondensat wurde erfasst.
- Die Ansaugdrücke der Ölpumpen wurden kontinuierlich gemessen.
- Vor dem Versuch wurde eine Tankreinigung durchgeführt.
- Der gefahrenen verkürzten Tageszyklen für den Sommer- und Winterbetrieb waren repräsentativ und detailliert mit Trinkwassererwärmungen und ggf. Nachtabsenkung.

Der Versuch verlief problemlos.

---