

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Untersuchungen zu Abgasemissionen
und zum Einsatz von Partikelfiltersystemen
bei rapsölbetriebenen Blockheizkraftwerken

Klaus Thuneke

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H. Bernhardt

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer, i.R.
2. Univ.-Prof. Dr. R. Meyer-Pittroff, i.R.
3. Univ.-Prof. Dr. M. Faulstich

Die Dissertation wurde am 13.03.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 26.09.2008 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	12
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	13
Verzeichnis der verwendeten Einheiten	15
1 Einleitung und Problemstellung	17
2 Stand des Wissens	21
2.1 Rapsölkraftstoff	22
2.2 Dieselmotor	27
2.3 Pflanzenölbetriebener Motor	31
2.4 Abgasemissionen	35
2.4.1 Grundlagen der Verbrennung.....	35
2.4.2 Kohlenmonoxid.....	37
2.4.3 Stickstoffoxide.....	37
2.4.4 Kohlenwasserstoffe	39
2.4.5 Aldehyde	40
2.4.6 Partikelmasse und Staub	40
2.4.7 Innermotorische Optimierung zur Minderung von Abgasemissionen	43
2.5 Abgasnachbehandlung.....	45
2.5.1 Oxidationskatalysator	45
2.5.2 Entstickungskatalysator.....	45
2.5.3 Partikelfiltersysteme	46
2.6 Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke.....	51
2.6.1 Einsatz und Betrieb	51
2.6.2 Vorschriften zum Immissionsschutz	54
2.7 Untersuchungen zum Emissionsverhalten von Pflanzenöl-Motoren	56
2.7.1 Vergleich Pflanzenöl- und Dieselmotoren	56
2.7.2 Einflüsse auf die Emission bei Pflanzenölkraftstoffbetrieb.....	59
2.7.3 Emissionsverhalten von pflanzenölbetriebenen BHKW	61
2.7.4 Einsatz von Partikelfiltersystemen bei Rapsölkraftstoffbetrieb.....	64
3 Zielsetzung	65
4 Material und Methoden	67
4.1 Untersuchungsvarianten	67
4.1.1 Ausgewählte Blockheizkraftwerke	73
4.1.2 BHKW-Betriebsweisen	74
4.1.3 Verwendete Rapsölkraftstoffe	76
4.1.4 Ausgewählte Dieselpartikelfiltersysteme.....	80
4.1.4.1 Partikelfilter „a“ – Keramik-Monolith beschichtet.....	80
4.1.4.2 Partikelfilter „b“ – Draht-/Keramikfilamentgestrick beschichtet.....	82
4.1.4.3 Partikelfilter „c“ – Keramik-Monolith unbeschichtet.....	83
4.1.4.4 Partikelfilter „d“ – Faserverbundfilter mit NO ₂ -Regeneration.....	84
4.1.4.5 Partikelfilter „e“ – Faserflechtfilter beschichtet.....	85
4.1.4.6 Einbau der Dieselpartikelfiltersysteme in das BHKW A	86

4.2	Durchführung der Emissionsmessungen	88
4.2.1	Messaufbau	88
4.2.1.1	Erfassung der Randbedingungen	88
4.2.1.2	Erfassung des Emissionsverhaltens	89
4.2.2	Messverfahren	90
4.2.3	Ablauf der Emissionsmessungen	93
4.2.4	Auswertung	94
5	Ergebnisse und Diskussion	96
5.1	Emissionsverhalten von drei Rapsöl-BHKW	96
5.1.1	Randbedingungen	96
5.1.2	Dauerlast	100
5.1.2.1	Kohlenmonoxid	100
5.1.2.2	Stickstoffoxide	104
5.1.2.3	Gesamt-C	107
5.1.2.4	Staub	108
5.1.2.5	Aldehyde	111
5.1.3	Einfluss von Teillastbetrieb	112
5.1.4	Einfluss der Kaltstartphase	120
5.1.5	Einfluss von Start/Stopp-Zyklen	124
5.1.6	Einfluss ausgewählter Rapsölkraftstoffeigenschaften	128
5.1.7	Einfluss eines Oxidationskatalysators	131
5.1.8	Einfluss eines Abgaspartikelfilters	135
5.1.9	Fazit	139
5.2	Emissionsverhalten eines Rapsöl-BHKW mit verschiedenen Partikelfiltersystemen	140
5.2.1	Betriebsverhalten und Randbedingungen	140
5.2.1.1	Partikelfilter „a“ – Keramik-Monolith beschichtet	140
5.2.1.2	Partikelfilter „b“ – Draht-/Keramikfilamentgestrick beschichtet	141
5.2.1.3	Partikelfilter „c“ – Keramik-Monolith unbeschichtet	143
5.2.1.4	Partikelfilter „d“ – Faserverbundfilter mit NO ₂ -Regeneration	144
5.2.1.5	Partikelfilter „e“ – Faserflechtfilter beschichtet	146
5.2.2	Vergleich der Emissionen bei verschiedenen Partikelfiltern	147
5.2.2.1	Staub	147
5.2.2.2	Kohlenmonoxid	149
5.2.2.3	Stickstoffoxide	151
5.2.2.4	Gesamt-C	152
5.2.2.5	Fazit	153
6	Einordnung der Ergebnisse	154
6.1	Emissionsverhalten rapsölkraftstoffbetriebener Praxis-BHKW	154
6.2	Abgaspartikelfiltersysteme bei rapsölkraftstoffbetriebenen BHKW	159
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	162
8	Zusammenfassung	166
9	Summary	169
10	Quellenverzeichnis	172
Anhang	181