

Inhaltsverzeichnis

	Abbildungsverzeichnis	V
	Tabellenverzeichnis	VIII
	Liste der verwendeten Symbole und Abkürzungen	IX
	Formelverzeichnis	XI
1	Einleitung	1
1.1	Stoffkreisläufe	1
1.2	Instabiles System	1
1.3	Szenarien künftiger Energieversorgungswege	2
1.4	Potential biogener Reststoffe	4
2	Die Niedertemperaturkonvertierung als Instrument zum rohstofflichen Recycling biogener Reststoffe	8
2.1	Geschichte der Niedertemperaturkonvertierung	8
2.2	Mechanismus der Niedertemperaturkonvertierung	8
2.3	Energetische Betrachtung der Stoffumwandlung	11
2.4	Verbleib der Metalle	14
2.5	Verbleib des Stickstoffes	16
2.6	Anwendung der NTK zum rohstofflichen Recycling	16
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	19
3.1	Untersuchung des Einflusses von Soda in der Niedertemperaturkonvertierung	19
3.1.1	Hypothese: In Anwesenheit von Soda können Fette verseifen und die gebildeten Seifen sich sekundär thermisch in Kohlenwasserstoffe zersetzen	20
3.1.2	Hypothese: Die Präsenz von Soda verringert die Bildung schwerlöslicher tertiärer Phosphate in der Niedertemperaturkonvertierung und erhöht somit die Phosphatlöslichkeit	21
3.2	Nutzung und Weiterverarbeitung der NTK-Kohle	22
3.3	Eignung der NTK-Kohle als Dünger	22
4	Material und Methoden	23
4.1	Versuchsbeschreibung von Niedertemperaturkonvertierungen im Labormaßstab	25

II

4.2	Umsetzung in der Pilotanlage in der Ausführung als thermokatalytischer Schlaufenreaktor	26
4.3	Umsetzung in der Pilotanlage als liegender durchmischter Rohrreaktor ..	27
4.4	Durchführung thermogravimetrischer Analysen	27
4.5	Elementaranalysen CHNS	28
4.6	Heizwertbestimmung	29
4.7	Aufbereitung der Substrate zur Fettsäuremusteruntersuchung	30
4.8	Charakterisierung des Konvertierungsöls	31
4.8.1	Bestimmung der Säurezahl im Konvertierungsöl	31
4.8.2	Bestimmung der Iod-Zahl im Konvertierungsöl	32
4.8.3	Bestimmung der kinematischen Viskosität im Konvertierungsöl	32
4.8.4	Aufbereitung der Fettsäuren zur Gaschromatographie	33
4.8.5	Gaschromatographische Untersuchungen	35
4.8.6	Spektroskopische Methoden	36
4.9	Charakterisierung der Kohle aus der Niedertemperaturkonvertierung	38
4.9.1	Immediatanalyse	38
4.9.2	Weitergehende Untersuchungen der NTK-Kohle	40
4.10	Charakterisierung des Reaktionswassers	41
4.11	Aufschlüsse	43
4.12	Photometrische Phosphatbestimmung	45
4.12.1	Gelb-Methode nach Gericke und Kurmies	45
4.12.2	Gelb-Methode nach Munk	46
4.12.3	Blau-Methode nach Murphy und Riley [Murphy 1962]	46
4.13	Elementarbestimmung mittels Atom-Absorptions-Spektroskopie (AAS)	47
4.14	Extraktionsversuche von Phosphor und Metallen	47
4.15	Entmineralisierung von NTK-Kohle	48
4.16	Löslichkeit der Phosphate in der NTK-Kohle	49
4.17	Bodenuntersuchungen	49
4.17.1	pH-Wert	49
4.17.2	CAL-Phosphat	50
4.17.3	EUF-Phosphat	51

III

4.18	Bioverfügbarkeit von Phosphor in den NTK-Kohlen	51
4.19	Untersuchungen der Röntgendiffraktometrie von NTK-Kohle	54
4.20	Statistische Auswertung der Ergebnisse	54
5	Ergebnisse	56
5.1	Charakterisierung der Substrate	56
5.2	Thermische Zersetzung von Natriumsalzen	58
5.3	Massenbilanz der NTK-Umsetzungen im Labormaßstab	60
5.4	Eigenschaften des Konvertierungsöls	62
5.4.1	Ölausbeute der NTK-Umsetzungen	62
5.4.2	Säurezahl im Konvertierungsöl	64
5.4.3	Viskosität des Konvertierungsöls	65
5.4.4	Heizwert des Konvertierungsöls	66
5.4.5	Wasserausbeute der NTK-Umsetzung	68
5.4.6	Sauerstoffkonzentration des Konvertierungsöls	69
5.5	Eigenschaften des Reaktionswassers	70
5.6	Immediatanalyse (Kurzanalyse) der Konvertierungskohle	72
5.7	Weiterführende Analyse der Konvertierungskohle	76
5.8	Phosphor in der Konvertierungskohle	78
5.8.1	Löslichkeit der <i>ortho</i> -Phosphate mit Wasser und organischen Säuren	78
5.8.2	Polyphosphate in der Konvertierungskohle	82
5.9	Carbonate in der Konvertierungskohle	85
5.10	Extraktionsversuche mit Salzsäure	86
5.11	Entfernung von Mineralien aus der NTK-Kohle	88
5.12	Bodenuntersuchungen	88
5.13	Gefäßversuch	91
5.13.1	Trockenmasseertrag	91
5.13.2	P-Konzentration im Spross des Weidelgrases	93
5.13.3	P-Gehalt	95
5.13.4	Kalium- und Natriumkonzentration im Spross des Weidelgrases	97
5.14	Thermogravimetrische Untersuchung von Phosphaten	99
5.14.1	Thermische Zersetzung von Kaliumdihydrogenphosphat	99

IV

5.14.2	Thermische Zersetzung von ATP	100
5.14.3	Thermische Zersetzung von Phytat	101
5.15	Untersuchungen der Röntgendiffraktometrie von NTK-Kohle	102
5.16	Verbleib des Stickstoffs in der Niedertemperaturkonvertierung	105
5.17	Verbleib des Schwefels in der Niedertemperaturkonvertierung	106
5.18	Konvertierungsöl aus der Pilotanlage	108
5.18.1	Umsetzung von Tierfett und Seifen	108
5.18.2	Umsetzung von Tiermehl	112
6	Diskussion	119
6.1	Einleitung	119
6.2	Einfluss von Soda auf das aus biogenen Reststoffen gewonnene Konvertierungsöl	120
6.3	Konvertierung von Tierfett und Seife in Kohlenwasserstoffe	122
6.4	Bilanzierung des Energieumsatzes in der Niedertemperaturkonvertierung	124
6.5	Nutzung des Kohlenstoffs in der NTK-Kohle	126
6.5.1	Verwendung als Brennstoff	126
6.5.2	Kohlenstofffixierung	129
6.5.3	Rohstoff für die Graphitherstellung	132
6.5.4	Rohstoff für die Aktivkohleherstellung	132
6.6	Nutzung von Phosphor in der NTK-Kohle	133
6.6.1	Direkte Applikation der NTK-Kohle als Dünger	133
6.6.2	Integration in das BAM-Verfahren	138
6.7	Trennung von Kohlenstoff und Phosphor	139
6.8	Stellungnahme zu den aufgestellten Hypothesen	139
7	Zusammenfassung	141
8	Literaturverzeichnis	145
	Anhang.....	A-1