

„Thermische Nutzung von getrocknetem Gärrest“

Dr. Andreas Dengel¹, Dr. Bodo Groß², Yasmin Außendorf²

¹STEAG New Energies GmbH, St. Johanner Straße 101-105, D-66115 Saarbrücken, Telefonnummer: +49 (0)681 9494 1600; Faxnummer: +49 (0)681 9494 9366; Mail: andreas.dengel@steag.com; Homepage: <http://www.steag-newenergies.com>; korrespondierender Autor

²IZES gGmbH, Altenkesseler Straße 17, D-66115 Saarbrücken, Telefonnummer: +49 (0)681 9762 851; Faxnummer: +49 (0)681 9762 175; Mail: gross@izes.de; Homepage: <http://www.izes.de>

Zusammenfassung: Die STEAG New Energies GmbH betreibt bundesweit mehr als 200 Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme überwiegend auf Basis regenerativer Energieträger wie Biomasse, Biogas, Grubengas und Geothermie, aber auch konventioneller fossiler Primärenergien. Die Biogasanlage Kirchwalsede ist östlich von Bremen in Niedersachsen lokalisiert, seit 2009 in Betrieb und hat eine elektrische Leistung von rund 1.430 kW. Die gekoppelt an die Stromproduktion erzeugte Nutzwärme wird zum Betrieb einer ORC-Anlage, zur Beheizung der Hofgebäude und des Fermenters genutzt sowie zur Wärmeversorgung des Gärresttrockners eingesetzt. Der getrocknete Gärrest wird derzeit als Dünger verwertet. Im Vorhaben soll untersucht werden, ob dieser Gärrest energetisch weiter genutzt werden kann.

Keywords: Gärrest, thermische Konversion, Biogasanlage, Wirtschaftlichkeit, Biokohle

1. Einleitung

Im Rahmen des grenzüberschreitenden und transnationalen INTERREG IV B Vorhabens BioenNW soll eine beispielhafte Machbarkeitsanalyse bezüglich des Standorts der Biogasanlage in Kirchwalsede für ein lokales Bioenergieprojekt erstellt werden. In diesem Fall soll ein neues, ökonomisch und ökologisch nachhaltiges Konzept für die regionale Verwertung von Gärresten untersucht werden. Die Gärreste werden im ersten Schritt getrocknet und sollen in einem zweiten Schritt in hochwertige Biokohle umgewandelt werden. Um dies möglichst praxis- und anwendungsorientiert zu gestalten, sollen die betreffenden lokalen Akteure direkt beteiligt werden. Ziel ist die Entwicklung eines nachhaltigen und übertragbaren Verwertungskonzepts für Gärreste, welche als Reststoffe der auf Basis nachwachsender Rohstoffe betriebenen Biogasanlage zur Verfügung stehen. Die Einsatzstoffe für die Biogasanlage stammen überwiegend von lokalen Ackerflächen sowie aus lokalen Viehzuchtbetrieben. Dazu werden verschiedene thermochemische Konversionsverfahren betrachtet, wobei sich die Detailuntersuchungen auf die Verfahren trockene Karbonisierung bzw. Pyrolyse konzentrieren.

Neben der technischen Machbarkeit wird auch die Wirtschaftlichkeit einer solchen Maßnahme untersucht. Dabei stehen vor allem die Vermarktungsmöglichkeiten der erzeugten Biokohle im Vordergrund.

Mögliche thermische Konversionstechnologien für Biomasse

Als Technologien zur thermischen Konversion von festen biogenen Einsatzstoffen sind neben der klassischen direkten Verbrennung insbesondere die Umwandlung mittels Vergasung, trockener Karbonisierung [1], Pyrolyse und Torrefizierung zu nennen. Mit der hydrothermalen Karbonisierung steht eine weitere Konversionstechnologie für biogene Reststoffe mit sehr hohen Wasseranteilen zur Verfügung. Bei den fünf letztgenannten Technologien entstehen außer einem definierten Anteil

an Nutzenergie eine Reihe, im Vergleich zu den Einsatzmaterialien höherwertiger Produkte wie beispielsweise brennbare Gase, Öle und/oder (Bio-)kohle. Bei der Auswahl der geeignetsten Konversionsmethode für ein konkretes biogenes Einsatzmaterial müssen zahlreiche Randbedingungen und Parameter beachtet werden. Dazu gehören beispielsweise vorhandene Wärmesenken, Qualität und Wassergehalt des Einsatzmaterials etc.

2. Standortbeschreibung und Problemstellung

Die Gemeinde Kirchwalsede umfasst knapp 2.400 Einwohner und gehört zur Samtgemeinde Bothel im Landkreis Rotenburg in Niedersachsen. Kirchwalsede liegt ca. 50 km östlich von Bremen und befindet sich am Rande der Lüneburger Heide. Die betrachtete Biogasanlage ist südlich der Ortslage Kirchwalsede lokalisiert und wird seit 2009 von der STEAG Cordes Bioenergie GmbH zur Erzeugung und Verstromung von Biogas, vorwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen, betrieben. Sie hat eine elektrische Leistung von rund 1.430 kW. Die gekoppelt an die Stromproduktion erzeugte Nutzwärme wird zum Betrieb einer ORC-Anlage, zur Beheizung der Hofgebäude und des Fermenters genutzt sowie zur Wärmeversorgung des Gärrestrockners eingesetzt, siehe dazu Abb. 1.



Abb. 1: Biogasanlage Kirchwalsede

Die gekoppelt an die Stromproduktion erzeugte Nutzwärme wird zur Beheizung der Hofgebäude, des Fermenters, eines ORC Moduls zur weiteren Erzeugung von elektrischem Strom sowie zur Wärmeversorgung des Gärrestrockners eingesetzt. Der produzierte Strom wird nach EEG ins öffentliche Netz eingespeist. Die Einsatzstoffe für die Biogasanlage stammen von lokalen Ackerflächen und Viehzuchtbetrieben aus der Region. Der größte Anteil des Substrat-Inputs wird durch nachwachsende Rohstoffe gedeckt (insgesamt 21.216 t/a). Gülle und Mist machen einen Anteil von ca. 32 % (10.542 t/a) des gesamten Input-Massenstroms aus. Der Gärrest der Anlage mit etwa 24% Trockensubstanz wird derzeit mittels der BHKW Abwärme getrocknet und das entstehende Produkt als Düngemittel eingesetzt. Für den Gärrest der Biogasanlage soll eine alternative Verwertung betrachtet werden, siehe dazu Abb. 2.

Die Gärreste werden im ersten Schritt getrocknet und sollen in einem zweiten Schritt in hochwertige Biokohle umgewandelt werden. Um dies möglichst praxis- und anwendungsorientiert zu gestalten werden die betreffenden lokalen Akteure direkt beteiligt. Ziel ist die Entwicklung eines nachhaltigen und übertragbaren Verwertungskonzepts für Gärreste, welche als Reststoffe der auf Basis nachwachsender Rohstoffe betriebenen Biogasanlage zur Verfügung stehen. Dazu werden verschiedene thermochemische Konversionsverfahren betrachtet, wobei sich die Detailuntersuchun-

gen auf die Verfahren trockene Karbonisierung bzw. Pyrolyse konzentrieren. Dabei werden einerseits die Anlage zur trockenen Karbonisierung der Pyreg GmbH mit Sitz in Dörth sowie der PyroFormer™, eine durch die Aston University in Birmingham entwickelte Pyrolyseanlage, auf ihre Eignung zum Einsatz am Standort Kirchwalsede untersucht.



Abb. 2: getrockneter Gärrest

Die bisher gängige Praxis bezüglich der Verwendung der getrockneten Gärreste sieht eine Ausbringung auf den lokalen landwirtschaftlichen Flächen vor. Da jedoch jeder Landwirt, aufgrund der vorhandenen Ausbringtechnik, eine andere Beschaffenheit des Gärrests favorisiert, ist es sehr schwer verschiedene Abnehmer für die gesamte Menge des getrockneten Gärrestes zu finden, bzw. den getrockneten Gärrest in einer „universellen“ Konsistenz zur Verfügung zu stellen. Analog muss auch der Wert des getrockneten Gärrests individuell kalkuliert werden.

Unter den gegebenen Randbedingungen erscheint eine Weiterverwertung des Gärrests durch ein nachgeschaltetes thermisches Konversionsverfahren in ein höherwertiges Material, wie beispielsweise der trockenen Karbonisierung oder der Pyrolyse, als sinnvolles technisches Konzept. Hinsichtlich wirtschaftlicher Gesichtspunkte könnten durch die Produktion von hochwertiger Biokohle ein weiterer vermarktbarer Wertstoff produziert werden. Außerdem werden durch die thermische Konversion sowohl die verbleibende Masse als auch die Reaktivität des konvertierten Gärrests reduziert, was zu einer vereinfachten Handhabung und zu einer verbesserten Transportwürdigkeit gegenüber der reinen Trocknung führt.

3. Technische Umsetzung

3.1 Beschreibung des Einsatzmaterials getrockneter Gärrest

Der Gärrest der NawaRo Biogasanlage in Kirchwalsede wird mittels eines Bandrockners von durchschnittlich etwa 24% Trockensubstanzgehalt (TS) auf durchschnittlich etwa 94% TS getrocknet. Der Bandrockner ist auf eine Eingangsmenge von etwa 1200 kg/h original Gärrest ausgelegt. Aus der für die Trocknung zur Verfügung stehenden Wärmemenge ergibt sich eine jährliche Menge Gärrest von rund 4.000 t/a; getrocknet von rund 1200 t/a. Der Heizwert des getrockneten Gärrests beträgt im Durchschnitt etwa 14,4 MJ/kg bzw. 4,0 kWh/kg bei einer durchschnittlichen Schüttdichte der separierten Feststoffe aus Gärresten von rund 100 – 120 kg/m³ [2].

Seit einiger Zeit wird auch die Problematik des zunehmenden Eintrags von Mikroplastikpartikeln in die Umwelt thematisiert [3]. Unter Mikroplastik versteht man in der Regel Partikel < 5 mm. Eine einheitliche Definition gibt es derzeit nicht. Entsprechende Einträge sind auch durch Biomüllvergärungsanlagen bekannt geworden [4]. Bei NawaRo Anlagen sollte die Anzahl solcher Partikel je Volumen jedoch entsprechend gering bzw. zu vernachlässigen sein. Dennoch könnten durch das

Verfahren der trockenen Karbonisierung der Gärreste die vorhandenen Mikroplastikpartikel fast vollständig entfernt bzw. zerstört werden. Polymere wie beispielsweise Polyethylen oder Polypropylen bei werden bei Reaktortemperaturen bis 750°C weitestgehend zerstört.

3.2 Auswahl der Technik

Aufgrund der vorliegenden Daten wurde entschieden, den getrockneten Gärrest entweder mittels Pyrolyse oder trockener Karbonisierung umzusetzen bzw. energetisch zu verwerten. Im ersten Schritt wurden an dieser Stelle zwei unterschiedliche Konversionsanlagen, der Pyroformer® der Aston University in Birmingham und die PYREG 500 der Firma Pyreg GmbH in Dörth, miteinander verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass die Anlagentechnik der Pyreg GmbH – Prozess: trockene Karbonisierung – gegenüber dem Pyroformer® der Aston University – Prozess: Pyrolyse – marktverfügbar ist bzw. sich derzeit in der Markteinführungsphase befindet. Es werden derzeit bereits neun PYREG 500 Anlagen im Alltagsbetrieb eingesetzt und betrieben. Ein Pyroformer® wird nach derzeitigem Kenntnisstand noch nicht kommerziell betrieben. Die Technologie befindet sich noch im Stadium der Technikumsentwicklung. Im Rahmen des Vorhabens BioenNW sollen im Jahr 2015 zwei Versuchsanlagen im erweiterten Technikumsmaßstab aufgebaut und an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Einsatzmaterialien getestet werden.

Derzeitiger Nachteil der PYREG 500 ist, dass die Anlage in der Standardversion bewusst nicht für eine Stromproduktion ausgelegt ist, bzw. dass als Produkte lediglich Kohle und nutzbare Abwärme entstehen. Hier könnte aber beispielsweise eine entsprechend dimensionierte ORC Anlage bzw. eine Mikrogasturbine nachgeschaltet werden. Erste diesbezügliche Versuche werden bei Pyreg derzeit im Rahmen eines Forschungsvorhabens durchgeführt [5]. Im Gegensatz dazu produziert der Pyroformer® neben der Kohlefraktion auch ein auskoppelbares brennbares Gas sowie eine flüssige Pyrolyseölfraction, welche beide in einem nachgeschalteten BHKW zu Wärme und Strom umgesetzt werden können. Nachteil des Pyroformers® sind die Anforderungen an die Einsatzmaterialien. Demnach muss das Material gesäubert, pelletiert und gesiebt werden. Die Pellets müssen dabei innerhalb folgender Werte liegen: Durchmesser zwischen 5 – 8 mm und Länge zwischen 10 – 20 mm. Der Feuchtegehalt sollte für den Einsatz im Pyroformer < 30% betragen. Hinsichtlich der notwendigen Pelletierung müssen die Einsatzmaterialien jedoch in der Regel mit Feuchtegehalten < 20% bereitgestellt werden, was im Umkehrschluss bedeutet, dass das eingesetzte Material in fast jedem Fall getrocknet werden muss. Der Anteil von Feinstoffen sollte < 5% (Gewichtsanteil) betragen. Die Pellets sollten eine Partikeldichte zwischen 700 und 1.300 kg/m³ und eine Schüttdichte von 400 kg/m³ bis 900 kg/m³ haben und weniger als 10% Kunststoffe (Gewichtsanteil) enthalten [6]. Beim Einsatz einer PYREG 500 entfallen die Pelletierung sowie die Anschaffungskosten für die notwendige Pelletieranlage. Für ggf. zusätzliche Substrate können, je nach Feuchtegehalt, die Trocknung sowie die damit verbundenen Kosten ebenfalls entfallen.

Aufgrund dieser Datenlage wurde entschieden, als Anlagentechnologie zur Verwertung des getrockneten Gärrests vorerst die PYREG 500 in die Betrachtung einzubeziehen, da diese marktverfügbar ist, keine vorgeschaltete Pelletierung benötigt und in der Anschaffung mit rund 435.000 € günstiger ist als der Pyroformer® mit rund 500.000 €. Abb. 3 zeigt das Schema einer PYREG 500 Anlage zur trockenen Karbonisierung von biogenen Reststoffen [7].

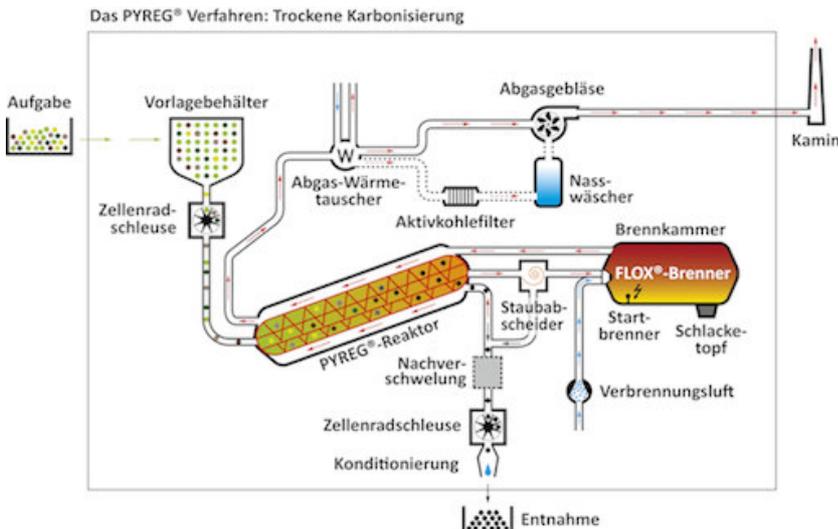


Abb. 3: Schema des Pyregverfahrens [7]

3.3 Technische Daten PYREG 500 und Randbedingungen

Die PYREG 500 ist ausgelegt für eine Brennstoffleistung von 500 kW. Die Menge an Gärrest am Standort der Biogasanlage in Kirchwalsede mit etwa 1200 t/a und einem durchschnittlichen Heizwert von rund 4,0 kWh/kg bzw. 14,4 MJ/kg wäre ausreichend für rund 8000 Vollastbenutzungsstunden einer PYREG 500 Anlage. Diese Werte wurden auch bei den folgenden Berechnungen angenommen.

Folgende Übersicht fasst die technischen Daten der PYREG 500 zusammen [7]:

- Brennstoffleistung maximal: 500 kW
- Brennstoffdurchsatz maximal: bis zu 180 kg/h (TS) oder etwa 1.300 t/Jahr (TS)
- Materialanforderung: Energiegehalt größer 10 MJ/kg
- Wassergehalt kleiner 50%
- Größe kleiner 30 mm
- Auskoppelbare Heizwärmeleistung: bis zu 150 kW
- Externe elektrische Leistungsaufnahme: etwa 10 kW
- Kohlenstoffeffizienz: bis zu 60%
- Abmessungen: 8,8 m × 3,5 m × 2,7 m (L/B/H)
- Gewicht: etwa 12 t

4. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs einer PYREG 500 Anlage am Standort der NawaRo Biogasanlage der STEAG New Energies GmbH am Standort Kirchwalsede ist von vielen Parametern abhängig. In einer ersten Analyse soll anhand von Richtpreisen und üblichen Annahmen eine hinlänglich genaue Abschätzung bezüglich der Möglichkeit eines wirtschaftlichen Betriebs der Anlage erarbeitet werden. In der nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsberechnung wird davon ausgegangen, dass am Standort der Biogasanlage genügend Platz zur Verfügung steht und der gesamte Gärrest in der Konversionsanlage eingesetzt werden kann. Die dazu notwendigen Gebäude, bzw. Überdachungen sind zum jetzigen Zeitpunkt in Kirchwalsede nicht vorhanden und müssten ggf. neu errichtet werden. Bei der Genehmigung können ggf. wasserrechtliche und tierhygienische Belange eine Rolle spielen, welche bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Tab. 1 gibt einen Überblick bezüglich der jährlichen Kosten für den Verfahrensschritt trockene Karbonisierung.

Investitionskosten	[€]
PYREG®500 Modul	330.000,00
Kamin	20.000,00
Vorlagebehälter, Kohleverladung	60.000,00
Inbetriebsetzung und Nebenkosten	10.000,00
Bautechnik, Fundamente, Asphalt, Schleppdach	10.000,00
Montage, Inbetriebnahme, Probetrieb, Fracht	5.000,00
SUMME	435.000,00
Annuität	
Annuitätsfaktor (gem. VDI 2067) [%]	8,99
Gesamtkosten über Laufzeit (15 Jahre) [€]	586.597,50
Annuität, jährliche Kosten [€/a]	39.106,50
Betriebskosten	
	[€/a]
Wartung und Instandhaltung der Module	16.400,00
Servicevertrag PYREG	11.500,00
Personalkosten	9.000,00
Versicherung	2.175,00
SUMME	39.075,00
GESAMTSUMME Fix-Kosten p.a.	78.181,50

Tab. 1: Abschätzung der jährlichen Kosten für die trockene Karbonisierung

Die Kosten für die PYREG 500 Anlage sowie deren Lebensdauer wurden einem Richtpreisangebot der Pyreg GmbH entnommen [8]. Die jährliche Annuität wurde auf Grundlage der VDI 2067 Blatt 1 bestimmt.

Die Abschätzung der jährlichen Kosten für die trockene Karbonisierung ergibt neben diesem Betrag von rund 78100 € noch etwa 60000 € an variablen Kosten durch beispielsweise elektrischen Strom, Wasser, zusätzliche Düngemittel. Demgegenüber stehen mögliche Erlöse bezüglich des Verkaufs der produzierten Biokohle, des Verkaufs der produzierten und auskoppelbaren Wärme sowie Erlöse aufgrund vermiedener Kosten im Zusammenhang mit der Abgabe des getrockneten Gärrests.

Die Berechnungen bezüglich der Erlöse gelten unter der Annahme, dass mit der produzierten Biokohle ein Erlös von etwa 250,-€ pro Tonne erzielt werden kann. Diese Abschätzung bezieht sich auf eine Aussage der Firma Pyreg, welche die Vermarktung von Pflanzenkohlen über ihre Tochtergesellschaft Novocarbo anbietet. Sofern die produzierten Kohlen den Kriterien der EBC (European Biochar Certificate) entsprechen, beträgt der Vergütungspreis bei Novocarbo aktuell etwa 250,-€ pro Tonne [9]. Es können jedoch für synthetische Kohlen aus unbelasteten Einsatzstoffen Erlöse von bis zu 800,-€ pro Tonne erwirtschaftet werden [10].

Im Falle einer Verkaufsmöglichkeit für die produzierte Wärmemenge würden Erlöse in Höhe von 60,-€/MWh angenommen werden. Das entspricht einem Preis knapp unterhalb der Kosten für die Wärmeproduktion mittels Erdgas ohne Berücksichtigung der Kapitalkosten für eine entsprechende Erdgasheizung. Die vermiedenen Entsorgungskosten bzw. erzielten Erlöse für den getrockneten Gärrest wurden im Sinne einer kostenneutralen Abgabe mit 0 € pro Tonne angenommen. Die real erzielbaren Erlöse/Kosten können, je nach vorhandenem Nährstoffangebot der landwirtschaftlichen Flächen, regional stark schwanken.

Da keine Wärmesenke in der Nähe vorhanden ist, summieren sich die Erlöse auf etwa 111000 €/a.

Erlöse	Jährliche Erlöse [€/a]	Preis pro Menge	Menge pro Jahr
Erlös Verkauf Biokohle (aus 1.100 t Gärrest)	83.000,00	250 €/t	332 t/a
Erlös aus KWK-Vergütung (für zusätzliche Gärresttrocknung)	27.810,00	0,03 €/kWh	927.000 kWh/a
GESAMTSUMME Erlöse p.a.	110.810,00		

Tab. 2: Abschätzung der jährlichen Erlöse beim Einsatz einer PYREG 500

5. Notwendige Genehmigungen und Integration

Der Erhalt der erforderlichen Genehmigungen zum parallelen Betrieb einer Anlage zur trockenen Karbonisierung auf dem Betriebsgelände der Biogasanlage Kirchwalsede sollte kein Problem darstellen. Unter Umständen sind Auflagen bezüglich des Wasser-, Abfall- und Tierseuchenrechts bei der Planung zu beachten. Es muss jedoch noch geprüft werden, ob die Karbonisierungsanlage nach der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (4.BImSchV) genehmigt werden muss und welche Anforderungen an die Abgasgrenzwerte gestellt werden. Derzeit ist davon auszugehen, dass eine Genehmigung nach 4.BImSchV erfolgen und die Grenzwerte der TA Luft in der derzeit gültigen Fassung eingehalten werden müssen. Die Integration einer Anlage zur thermischen Konversion des getrockneten Gärrests, wie beispielsweise einer PYREG 500, sollte auf dem Gelände der Biogasanlage aufgrund der Platzverhältnisse kein Problem darstellen, da der Standort genügend freien Raum zur Verfügung hat. Im Falle, dass neue Gebäude bzw. Unterstände errichtet werden müssen, sind entsprechende Bauanträge einzureichen.

6. Zusammenfassung

Der Betrieb einer trockenen Karbonisierungsanlage auf dem Gelände der Biogasanlage in Kirchwalsede zur separaten Verwertung bzw. Umsetzung des getrockneten Gärrests ist technisch möglich. Ab einem Erlös von rund 420,-€ pro Tonne Biokohle ergibt sich unter sonst gleichen Annahmen eine positive wirtschaftliche Bilanz. Die Menge der vermarktbareren Wärmeenergie wurde auch hier mit 0% angenommen. Alternativ müsste die Menge an erzeugter Biokohle auf über 1135 t/a ansteigen, um positive Ergebnisse mit der Anlage zu erzielen.

Gegebenenfalls sollte auch geprüft werden, ob eine Verlagerung der Karbonisierungsanlage an einen nahegelegenen Standort mit genügend großer Wärmesenke möglich bzw. ein solcher Standort vorhanden ist und die produzierte Nutzwärme dort vermarktet werden kann.

7. Literatur

- [1] persönliche Mitteilung bezüglich der Einstufung der thermochemischen Konversionsanlage PYREG 500 von Dipl. Ing Helmut Gerber, GF Pyreg GmbH, per Email am 20. Januar 2015
- [2] Andreas Ferch, Gärrestetrocknung mit dem Dorset Bandrockner und nachgeschalteter Abluftreinigung, Dorset Agrar- und Umwelttechnik GmbH, abgerufen unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/349,72f1df53-237d-eebf-5ecff00275d2386a~pdf.html>. am 03. März 2015
- [3] Untersuchung: Zu viel Mikroplastik im Auslauf von Kläranlagen festgestellt, EUWID, Recycling und Entsorgung, Heft Nr. 45/2014, Seite 11

- [4] <http://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Muell-aus-Biogasanlage-verschmutzt-Schaalseegebiet.umweltverschmutzung106.html>, Stand: 09. Dezember 2014 14:40 Uhr, Müll aus Biogasanlage verschmutzt Schaalseegebiet, abgerufen am 13. März 2015
- [5] <http://www.pyreg.de/forschung.html>; abgerufen am 03. Februar 2015
- [6] Aston University Birmingham, European Bioenergy Research Institute, Pyrofab - Outline System Specification Version V9 1st Sept '14, Seite 6
- [7] <http://www.pyreg.de/technologie.html>; abgerufen am 11. Dezember 2014
- [8] persönliche Mitteilung von Dipl. Ing Helmut Gerber, GF Pyreg GmbH, telefonisch am 11. Dezember 2014
- [9] persönliche Mitteilung von Bernd Beyer, Leiter Vertrieb & Unternehmensentwicklung der Pyreg GmbH, per Email am 05. März 2015
- [10] http://www.carbon-terra.eu/de/pflanzenkohle/verkauf/pflanzenkohle_pur; abgerufen am 19. Januar 2015