

Konferenz

Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial
01./02. März 2011 in Berlin



**Energetische
Biomassenutzung**

Herstellung von Brennstoffen aus feuchter Biomasse

Das florafuel-Verfahren

Autor(-en): Dr. Swantje M. Schlederer

Institution: Universität der Bundeswehr München

Institut für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Werner-Heisenberg-Weg 39

85577 Neubiberg

Tel. 0049-173-9528916

E-Mail: swantje.schlederer@gmx.de

Schlagwörter: Bioenergie, halmgutartige Biomasse als Brennstoff, Landschaftspflegematerial als Brennstoff, Mischbrennstoffe

Zusammenfassung

Das mittelständische Münchner Unternehmen florafuel AG steht kurz vor dem Durchbruch bei der Herstellung von biogenen Brennstoffen und der Erschließung bislang ungenutzter Energiepotentiale aus Landschaftspflegematerial und Bioreststoffen. Hochwertige Biomassebrennstoffe können nach dem *florafuel*-Verfahren (Patentanmeldung 2003) durch die Aufbereitungsschritte „Waschen, Zerkleinern, mechanisch Entwässern, thermisch Trocknen und Verdichten (Brikettieren/Pelletieren)“ bereitgestellt werden. Der positive Einfluss auf die Brennstoffqualität beschränkt sich nicht nur auf die Reduzierung des Wassergehaltes der Biomassefraktionen, welcher alleine durch die mechanische Entwässerung mit sehr geringen Energieaufwand auf den Feuchtegehalt von Frischholz reduziert wird, sondern setzt sich in der Reduzierung der verbrennungstechnisch bedenklichen für Halmgut üblichen Inhaltsstoffe, wie Chlor und Kalium fort. Ebenso werden mineralische Anteile (wie Steine, Sand und Erde), Plastik und Metalle durch den Waschvorgang ausgeschieden. Durch die Nutzung verschiedener Biomassetypen, wie Gras, Feuchtwiesenschnitt, Straßenbegleitgrün, Laub, überschüssigen Fermentierungsabfällen, Silage, Holz- und Strauchschnitt aus der Landschaftspflege unterliegt die Anlage einer ganzjährigen Auslastung. Die Versuchsanlage besitzt bereits eine Durchsatzleistung im Eingangsbereich von 3 Tonnen pro Stunde (Gras) und kann bei 5.000 Betriebsstunden, in Abhängigkeit der Biomasse, Brennstoffe mit einem Energiegewinn um 9,3 Mio. kWh/a bereitstellen. Durch die Nutzung dieser Brennstoffe könnte über 1 Mio. m³ Erdgas pro Jahr eingespart werden. Die hergestellten Brennstoffe können als Monochargen (Gras, Laub,...) oder als Mischbrennstoffe (Holz-/Graspellets, Holz-/Laubpellets,...) bereitgestellt werden. Als Produkt wird ein CO₂-neutraler und energetisch hochwertiger Energieträger bereitgestellt. Durch die konsequente Erschließung bislang ungenutzter Ressourcen durch die Aufbereitung von Landschaftspflegematerial und Biomassereststoffen als hochwertige Energieträger leistet das Aufbereitungsverfahren einen Beitrag zur energetischen, regionalen Unabhängigkeit.

Gefördert vom:

Koordiniert vom:

Wissenschaftlich
begleitet vom:



Hintergründe

Nach einer Studie im Rahmen des EU-Projektes „Euwood“ könnte die Nachfrage nach Holz in einigen Regionen der EU bereits ab dem Jahr 2015 das Angebot übersteigen. Bis zum Jahr 2030 könnte der Studie zur Folge das potentielle Rohholzaufkommen europaweit über 400 Mio.m³ geringer ausfallen als der Bedarf. Nach Aussagen des Sachverständigenrats für Umweltfragen (2007) wären hingegen ca. 65 Prozent der jährlich bundesweit anfallenden rund 100 Mio. Tonnen an „Biomassereststoffen“ – also Biomasse und ähnliche Materialien, zum Beispiel aus der Forst- und Landwirtschaft oder der Abwasser- und Abfallwirtschaft, technisch und ökologisch sinnvoll zu nutzen. Das stellt immerhin ein Potential von vier bis fünf Prozent des Primärenergiebedarfs Deutschlands dar [1]. An der Universität der Bundeswehr München, Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, wird ein Verfahren zur Aufbereitung von feuchter Biomasse zu Brennstoff, optimiert. Die Optimierung des Verfahrens ist gut vorangeschritten und die Versuchsanlage soll 2011 im Rahmen eines Biomassehofes unter ökonomischen Gesichtspunkten betrieben und weiter an die Marktanforderungen angepasst werden. In diesem Zeitraum konnten weitere patentrechtliche Anmeldungen im technischen, wie im Verfahrensbereich eingereicht werden. Für das Aufbereitungsverfahren wurde ein komplett neues Trocknungssystem entwickelt und diverse, am Markt erhältliche Technologien wurden Schritt für Schritt den Anforderungen der Aufbereitung der einzelnen Biomassetypen angepasst. So können bislang 8 verschiedene Biomassetypen aufbereitet werden, darunter Landschaftspflegematerial wie Gras, Laub, Schilf und Feuchtwiesen, Pferdemist sowohl aus Stroh als auch aus Sägespaneeinstreu, Fermentierungsabfälle sowie Grassilage und Laub aus kommunalem Kehrort. Im Rahmen der Forschungstätigkeit wurde das Verfahren von Juli 2006 bis November 2009 durch das Bayerische Ministerium für Landwirtschaft und Forsten in Zusammenarbeit mit dem Technologie- und Forschungszentrum in Straubing (TFZ) unterstützt. Als ehrgeiziges Ziel haben sich der Projektträger und sein Team die weitere Optimierung des Verfahrens und die zeitnahe Markteinführung gesetzt.

Beschreibung des florafuel-Aufbereitungsverfahrens

Nach einer Klassifizierung der Chargen in Kenngrößen, wie dem Eingangsfeuchtegehalt, der Struktur, sowie der Anteile an Fremdstoffen wird die jeweilige Biomasse zu Brennstoff verarbeitet. Eine weitere wichtige Kenngröße zur Beurteilung der Aufbereitung ist die „Waschbarkeit“ des aufzubereitenden Gutes. Halmgutartige feuchte Biomasse oder waschbares Gut mit einem Feuchtegehalt im Eingangsbereich von über 60 %, wie Gras, Laub, Feuchtwiesenschnitt oder Grassilage wird nach dem *florafuel*-Verfahren „Waschen, Zerkleinern, Pressen, Trocknen und Verdichten (Pelletieren/Brikettieren)“ zu Brennstoff aufbereitet.



Bild 1: Verfahrensstufen zur Aufbereitung feuchter Biomasse nach dem florafuel-Verfahren

Durch das mechanische Vorentwässern (Pressen) wird die Biomasse auf einen Restfeuchtegehalt zwischen 50 und 60 % reduziert. Wird beispielsweise 1 Tonne Gras mit einem Eingangsfeuchtegehalt von 80 % (800 kg Wasser, 200 kg Trockensubstanz) auf 55 % Restfeuchte abgepresst, werden 556 kg an Wasser aus der Biomasse energieeffizient und kostengünstig entfernt und thermisch müssen nur noch 214 kg Wasser aus der Biomasse getrocknet werden, um einen lagerfähigen Brennstoff von 13% Feuchtegehalt zu erhalten. Die Restfeuchte der gepressten Biomasse liegt bei den Werten von Frischholz. Für die Verwendung des Presswassers stehen drei Optionen in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Biomasse zur Verfügung. Beispielsweise kann der Presssaft aus Gras, nach den Qualitäts- und Güterichtlinien der Fachvereinigung Bayerischer Komposthersteller e.V. mit dem Qualitätszeichen „Kompost flüssig“, als Dünger

verwendet werden. Die Presssäfte können auch zur Energieerzeugung den Fermentationsanlagen zugeführt werden. Batch-Versuche zeigen eine leichte „Verdaulichkeit“ der Presssäfte und einen schnellen Prozessablauf von 16 Tagen. Im Vergleich hierzu liegt die Fermentationszeit in herkömmlichen Fermentationsanlagen um die 30 Tage. Der Biogasertrag liegt bei der Vergärung von Grassaft bei ca. 617 Liter, bei Laub bei ca. 340 Liter pro kg organischer Trockensubstanz und einer Methanausbeute zwischen 56 und 62 % (Rindergülle 345 l/kg oTS, Gras 627/kg oTS). Die Ko-Vergärung der Presssäfte in einem industriellen oder kommunalen Faulbehälter auf Kläranlagen ist denkbar. Die thermische Prozessenergie der Vergärungsanlagen könnte zur Trocknung der Presskuchen eingesetzt werden.

Als dritte Option zur Verwendung der Presssäfte stehen die Aufbereitung der Presssäfte und dabei die Rückgewinnung der im Presssaft anteiligen Trockensubstanz, zur Verfügung. Dies ist mit einer einfachen Filtertechnik möglich. Die rückgewonnene Trockensubstanz des Presswassers (anteilig zwischen 5–11 %) wird dem Presskuchen und damit der Pelletproduktion zugeführt. Hierdurch erhöht sich der Pellet-Ertrag in Relation der aufbereiteten Frischmasse. Das weitgehend von Trockensubstanz befreite Restwasser wird direkt in der Anlage mit einer biologischen Kläranlage vorgereinigt und nach der jeweiligen Abwasserersatzung in das Kanalsystem zugeführt. Derzeit wird die Wiederverwendung als Waschwasser geprüft.

Die Optimierung des Verfahrens ist soweit fortgeschritten, dass das Aufbereitungsverfahren in einen Biomassehof eingebunden und unter ökonomischen Bedingungen betrieben werden soll. Die Stoffströme, z.B. Landschaftspflegematerial, teilen sich bei der Anlieferung zur Verarbeitung wie folgt auf:

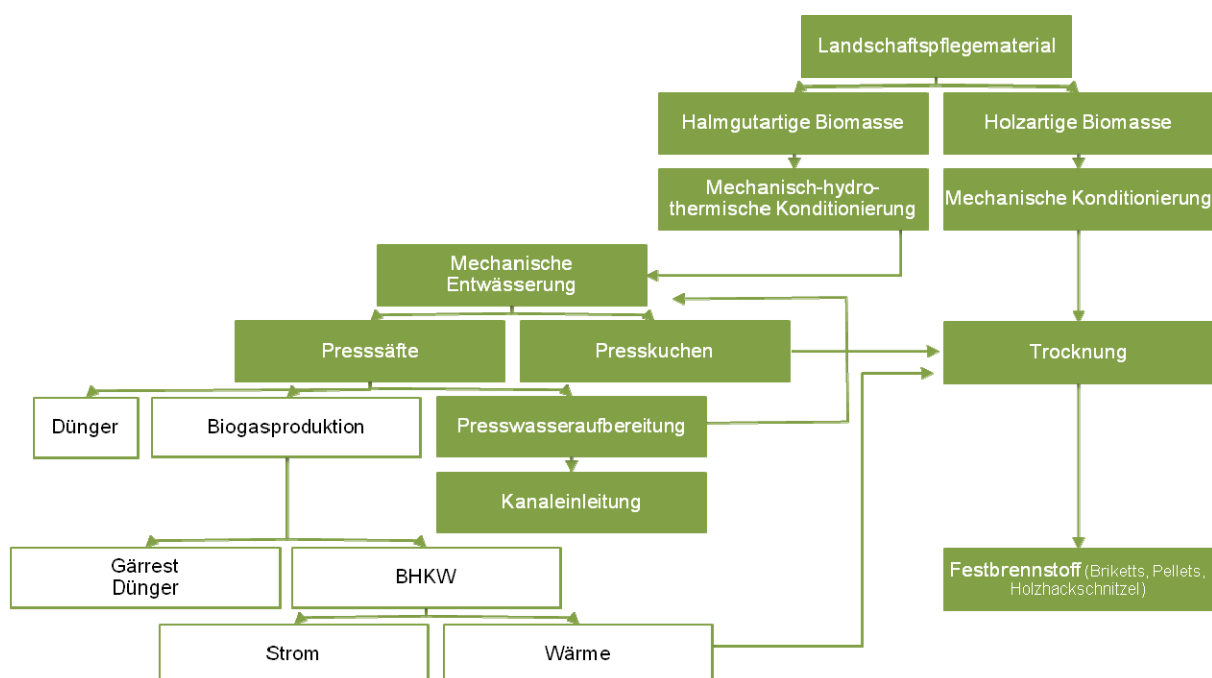


Bild 2: Das florafuel-Verfahren eingegliedert in einen Biomassehof

Die Heizwerte der aufbereiteten Biomassebrennstoffe Gras, Straßenbegleitgrün, Feuchtwiesenschnitt und Laub und liegen zwischen 17.000 bis rd. 18.000 kJ/kg (wf) [2]. Im Vergleich dazu liegt der Heizwert von Holz bei ca. 17.500 kJ/kg bis 19.500 kJ/kg (wf).

Tab. 1: Heizwert und Aschegehalt ausgewählter Brennstoffe

	Heizwert		Aschegehalt	Ascheerweichungs- temperatur
	MJ/kg wf	kWh/kg wf	550 °C	DT in °C
Gras	18,0	5,00	5,4	1.050
Straßenbegleitgrün	17,9	4,96	5,9	1.180
Feuchtwiesen	17,4	4,83	7,4	1.150
Laub	17,8	4,95	11,9	1.280

Ein positiver Einfluss des *florafuel*-Aufbereitungsverfahrens zeigt sich in der Reduktion des Aschegehaltes im Vergleich zum Ausgangsmaterial. Zurückzuführen ist dieser Umstand auf die Auswaschung des mineralischen Anteils (Sand, Steine) und der Fremdanteile (z.B. Metalle, Müll), die sich durch die Aufnahme der Biomasse in dem Gut befinden. Ohne den Ausschluss dieser „Störstoffe“ kann kein Brennstoff mit hohen Qualitätsmerkmalen und damit verbundenen geringen Verschleiß- und Anlagekosten bereitgestellt werden. Das Waschwasser wird kostengünstig direkt in der Anlage aufbereitet und wiederverwendet. Im Vergleich zu holzartiger Biomasse ist der Aschegehalt mit 5,4 und 7,4 % (knapp 12 % bei Laub) relativ hoch. Zur Verbrennung von Biomasse steht am Markt eine geeignete Technologie von verschiedenen Herstellern zur Verfügung.

Inhaltsstoffe der Energieträger

Die zur Verbrennung im Fokus stehenden Inhaltsstoffe, wie Cl, K konnten im Vergleich, Eingangsmaterial zum fertigen Pellet, deutlich reduziert werden. So verringert sich der Chlorgehalt durch die Aufbereitung der untersuchten Chargen bis zu 95 %. Trotz relativ hoher Ascheeinbindung von 40 bis 95 % bei der Verbrennung kann Chlor in Verbindung mit Alkali- und Erdalkalimetallen und mit Schwefeldioxid an der Oberfläche der Wärmeüberträger korrosiv wirken [3].

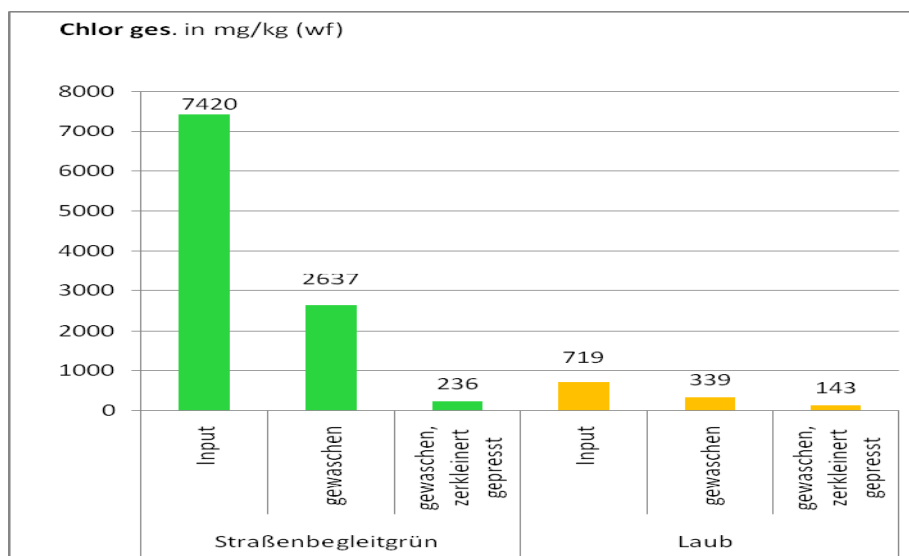


Bild. 3: Reduktion des Inhaltsstoffs Chlor bei ausgewählten Biomasse-Chargen

Der Kaliumgehalt wird durch das Aufbereitungsverfahren, in Abhängigkeit zur aufzubereitenden Biomasse, bis zu 84 % reduziert. Kalium hat Einfluss auf das Ascheschmelzverhalten und ist an den Korrosionsvorgängen in den Wärmeüberträgern und abgasführenden Bestandteilen von Feuerungsanlagen beteiligt [4]. Der Schwefelgehalt konnte bei Straßenbegleitgrün um knapp 43 % auf 1120 mg/kg und bei Laub um

rd. 48 % auf 658 mg/kg gesenkt werden. Die Stickstoffreduktion lag bei der untersuchten Charge von Straßenbegleitgrün bei 27,5 %.

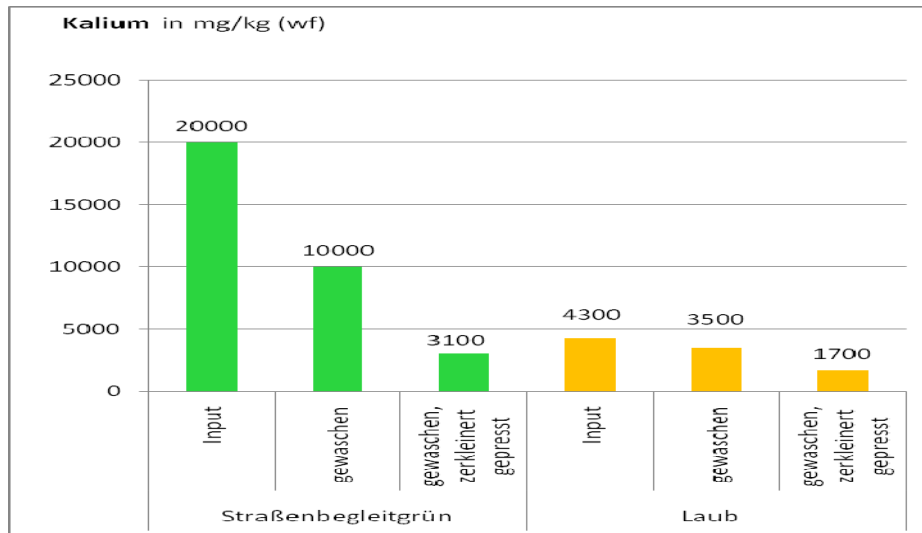


Bild 4: Reduktion des Inhaltsstoffs Kalium bei ausgewählten Biomasse-Chargen

Technische Daten – vorläufige Ergebnisse

Innerhalb des Optimierungszeitraums wurden eine Dosiereinheit, eine Presse, zwei Trocknungssysteme und ein Zerkleinerungsgerät in Zusammenarbeit mit Anlagenkonstrukteuren neu konzipiert und gebaut. Diese Geräte befinden sich derzeit (Februar 2011) noch in der Testphase und kurz vor der Marktreife. Die folgenden Berechnungen zur Energieeffizienz beziehen sich auf den Einsatz der Biomasse Gras, unberücksichtigt der jahreszeitlichen Auslastung der Anlage, die mit den oben genannten Biomassentypen gewährleistet wird. Die folgenden Ergebnisse müssen sich unter Dauerlast noch weiter bestätigen. Der Massendurchsatz der Versuchsanlage liegt bei 3.000 kg/h Frischmasse (Gras) bei 80% Feuchtegehalt. Die elektrische Anschlussleistung beträgt für das gesamte Verfahren 205,6 kW/h.

Die enthaltene Energie pro kg erzeugten Pellets liegt bei ca. 4,28 kWh. Wird die Energie von 1,42 kWh/kg für die Aufbereitung abgezogen, erhält man einen Energieüberschuss von 2,86 kWh pro Kilogramm. Bei Berücksichtigung des potentiellen Energiewertes der Presssäfte (Vergärung) ergibt sich bei einer Durchsatzleistung von 3.000 kg/h FM ein Energiegehalt von 0,24 kWh/kg elektrisch und 0,48 kWh/kg thermisch. Der Energiegewinn der aufbereiteten Pellet unter Berücksichtigung des Energiegehaltes des Presswassers liegt bei 3,58 kWh/kg Pellets (13 % FG).

Tab. 3: Energiebilanz der Aufbereitung nach dem *florafuel*-Verfahren

Energiebilanz	Pellets	Presswasser/-saft	
	kWh/kg	Vergärung kWh/kg FM	Aufbereitung kWh/kg FM
Energie im Pellet (13% FG) thermisch	4,28	0,74	0,98
Energie im Presssaft			
elekt. Energie Biogas (WG 30%)	0,24	0,04	0
therm. Energie Biogas (WG 60%)	0,48	0,08	0
Gesamtenergie Pellet und Presssaft	5,00	0,86	0,98
benötigte Energie für die Aufbereitung	1,42	0,24	0,25
Energiegewinn gesamt	3,58	0,62	0,73

Um die Vergleichbarkeit zu anderen Aufbereitungsverfahren zu ermöglichen, wird der Energiegewinn pro kg Pellets (13 % Feuchtegehalt) auf die Frischmasse Gras (80 % Feuchtegehalt) umgerechnet und der Verfahrensoption mit einer Presssaftaufbereitung gegenübergestellt. Durch die Rückführung des Trockensubstanzgehaltes des Presswassers (-saft) in den Presskuchen und dem damit verbundenen höheren Pellet-Ertrag in Relation zu der aufbereiteten Frischmasse liegt der Gesamtenergieertrag, im Vergleich zur Vergärung der Presssäfte höher, bei 0,73 kWh pro aufbereitetem Kilogramm Frischmasse.

In der folgenden Tabelle 4 wird der Energiegewinn, berechnet auf die Tonne Frischgras, durch die Aufbereitung, in Abhängigkeit der Presssaftverwendung innerhalb des *florafuel*-Aufbereitungsverfahrens, im Vergleich zur Vergärung der Biomasse in einer Biogasanlage dargestellt. Zudem werden die Erdgas- und Erdöläquivalente aufgezeigt, die durch den Einsatz der Biomasse eingespart werden könnten.

Tab. 4: Energiegewinn in Abhängigkeit der Aufbereitungsverfahren

	bezogen auf FM Gras kWh/t FM	Erdgasäquivalent 1m³ mit 8,816 kWh m³/t FM	Erdöläquivalent 1 kg RÖE mit 11,63 kWh kg Erdöl/t FM
florafuel-Verfahren: Vergärung von Presswasser			
Energiegewinn gesamt:			
thermisch Pellet und thermisch Presswasser (60% WG) und elektrisch Presswasser (WG 30%- 10% V)	620	70,3	53,3
florafuel-Verfahren: Aufbereitung von Presswasser			
Energiegewinn gesamt:			
(thermisch Pellet inkl. Rückgewinnung TR Presswasser)	730	82,8	62,8
Vergärung von Gras (Ganzpflanze) in Biogasanlagen (FG 82%)			
Energieertrag gesamt:			
bei 60% thermisch WG und 30% elektrische WG	490	55,6	42,1
Energieertrag elektrisch:			
bei Vergärung der Ganzpflanze ohne Nutzung der Produktionswärme	170	19,4	14,6

WG – Wirkungsgrad, FM – Frischmasse, FG – Feuchtegehalt; * Quelle: Fachverband Biogas e.V.

Die Berechnungen zeigen deutlich, dass die Nutzung der Biomasse als Brennstoff, welcher durch das *florafuel*-Verfahren aufbereitet wurde, im Vergleich zur Vergärung der Ganzpflanze (Biogasanlage) einen rd. 20 % höheren Energieertrag aus einer Tonne Gras (frisch) erzielt. Findet die Produktionswärme der Biogasanlage keine Verwendung, reduziert sich der Energiegewinn aus einer Tonne Frischgras auf 170 kWh/t. In diesem Vergleich liegt der erzielte Energiegewinn durch das *florafuel*-Aufbereitungsverfahren 3,6 mal höher, als bei der Nutzung durch Vergärung des Grasschnitts.

Werden 5.000 Betriebsstunden im Jahr bei der Versuchsanlage unterstellt, könnten Brennstoffe mit einem Energiegehalt von rd. 9,3 Mio. kWh bereitgestellt werden. Das entspricht einem Erdgasäquivalent von 1.054.500 m³ (Erdöläquivalent von 799.500 kg). Durch den Einsatz dieser Brennstoffe könnten rund 2,5 Mio. kg an CO₂ jährlich eingespart werden.

Tab. 5: Einsparungspotentiale bei Erdgas und CO₂ durch die Verwendung der erzeugten Brennstoffe durch eine *florafuel*-Anlage im Jahr

Anlagendurchsatz masse bezogen auf 80% FG	Frisch- Gras	Energiegewinn	Erdgasäquivalent 1 m ³ mit 8,819 kWh	Gesamtmenge Äquivalente inkl. Vorkette	CO ₂ -
10.000 t		6.200.000 kWh/a	703.000 m ³	1.707.995 kg	
15.000 t		9.300.000 kWh/a	1.054.500 m ³	2.561.992 kg	
20.000 t		12.400.000 kWh/a	1.406.000 m ³	3.415.989 kg	

Als potentielle Betreiber werden Landwirte, Kompostanlagenbetreiber, Kommunen und sonstige Gewerbetreibende gesehen.

Fazit

Als Vorteile des *florafuel*-Verfahrens lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

- Es handelt sich um eine alternative Rohstoffgewinnung bei konsequenter Erschließung bislang ungenutzter Energiepotentiale
- Ein CO₂-neutraler Brennstoff wird bereitgestellt, dessen Ursprung nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht
- Es handelt sich um eine umweltschonende Aufbereitung; d.h. es werden keine Chemikalien zur Produktion eingesetzt, das Waschwasser wird direkt auf der Anlage aufbereitet und im Kreislauf gefahren
- Heimischer Brennstoff – dadurch kurze Wege zwischen Produktion und Verbraucher
- Regionalbezogene Wertschöpfung
- Lagerfähiger und damit grundlastfähiger Brennstoff (Biomasseanfall Sommer, Wärmenutzung im Winter)
- Kostengünstige Technologie
- Potentielle Nutzung der Abwärme von Industrie- und Fermentationsanlagen
- Weniger Platzbedarf der Anlagen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren

Ausblick

- Diese vorläufigen Ergebnisse / Abschätzungen müssen sich in der Praxis weiter bestätigen
- Es besteht Optimierungspotential (Versuchsanlage)
- 2011 sollen Versuche zur Entwicklung von Mischpellets stattfinden
- Versuche zur Aufbereitung der Inhalte der Biotonne sind geplant
- Kooperationspartner für weitere Pilotanlagen werden gesucht

Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Hrsg.: „Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen“, Sept. 2009, S. 6
- [2] TFZ: Brennversuch wurden u.a. am Technologie- und Forschungszentrum in Straubing durchgeführt.
- [3] M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer: Energie aus Biomasse, 2. Auflage, S. 344–345
- [4] M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer: Energie aus Biomasse, 2. Auflage, S. 340