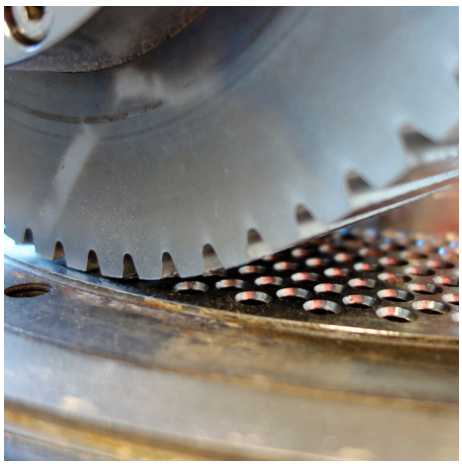
FORSCHUNGSBERICHT

KOMPAKTIERTE UND ADDITIVIERTE LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOMASSE-BRENNSTOFFE

AgroAddFuel - AP4: Herstellungsverfahren und deren Bewertung



HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

AgroAddFuel
AP 4 Herstellung und Bewertung der Herstellungsverfahren von kompaktierten additivierten landwirtschaftlichen Biomasse-Brennstoffen

Bericht

HFA-Nr.: F47700

Beauftragt von
FFG 838762

Autor/en/in/nen

DI Wilfried Pichler

Dr. Martin Weigl

Projektmitarbeiter/innen

Richard Götzl

Michael Pain

Patrik Pölz

Wien, April 2015

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung / Problemstellung 1

2 Material und Methoden 2

2.1 Vorzerkleinerung bei Fa. Derler Agrar GmbH 2

2.2 Arbeiten im Technikum 4

2.2.1 Zerkleinerung von Maisspindelbruch 5

2.2.2 Konditionierung und Additivierung 5

2.2.3 Pelletierung 5

2.2.4 Massen- und Energiebilanzen 6

2.3 Begleitende Analysen 8

2.3.1 Bestimmung des Additivgehaltes 8

2.3.2 Sonstige Analysen 8

3 Ergebnisse 9

3.1 Zerkleinerung der Ballen mit Haybuster H1130 9

3.2 Massen und Energiebilanzen 9

3.3 Additivgehalt der Pellets 11

3.4 Prozessverlauf und Pelletqualität 12

4 Zusammenfassung und Diskussion 16

1 Einleitung / Problemstellung

Die Verwendung additivierter Biobrennstoffe setzt eine praktikable Einbringung bzw. Zudosierung von Additiven voraus, welche gewährleistet, dass das Additiv in möglichst genauer und gleichmäßiger Dosierung im Brennstoffbett vorliegt. Dies kann sehr effizient durch Kompaktierung bzw. Pelletierung des Brennstoff-Additivgemisches erreicht werden. Ein derart aufbereiteter Brennstoff kann ohne Entmischungsgefahr gelagert und transportiert werden und stellt keine besonderen Anforderungen an die Feuerungsanlage. Der Brennstoff kann mit einem herkömmlichen Fördersystem in die Feuerung eingebracht werden, es bedarf keines zusätzlichen Dosiersystems für das Additiv. Dies ist besonders bei der Verwendung in Bestandsanlagen und bei Feuerungen mittlerer Größe entscheidend für die praktische Umsetzung.
Das vorliegende Arbeitspaket befasst sich mit der Herstellung von Pellets aus Brennstoff-Additiv-Mischungen. Die Brennstoffpellets werden in ausreichender Menge benötigt, um damit Verbrennungsversuche durchführen zu können. Da die Herstellung von additivierten Brennstoffpellets einen zusätzlichen Schritt in der Wertschöpfungskette darstellt, soll auch der Herstellungsprozess selbst in grundlegender Weise bewertet werden. Dabei sollen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Einflussfaktoren auf die Produktion und auftretende Probleme
- Grundlegende Massen- und Energiebilanzen (orientierende Größen)
- Erzielbare Pelletqualität im Vergleich zu Holzpellets

2 Material und Methoden

Die Produktionsversuche wurden im Biomassetechnikum der Holzforschung Austria / des Forschungsverbundes BioUp durchgeführt. Die Bereitstellung und Vorzerkleinerung des Materials erfolgte durch das landwirtschaftliche Lohnunternehmen Derler Agrar GmbH. Die Additive wurden von einschlägigen Unternehmen bereitgestellt.

Folgende, in Tabelle 1 beschriebene, Rohstoffe wurden der Holzforschung Austria zugestellt:

Tabelle 1: Übersicht der eingesetzten Rohstoffe und Addtive

Rohstoff	Zustand	Menge	Herkunft/Anlieferung
Maispindel	gebrochen, Korngröße 10-15 mm, trocken	2,6 t; 12 Bigbags	01.10.2014, Tschiggerl Agrar GmbH, Anlieferung Derler Agrar GmbH
Weizenstroh	grob gemahlen, Faserlänge 10-15 mm, trocken	4 t; 38 Bigbags	09.10.2014, Derler Agrar GmbH
Rapsstroh	grob gemahlen, Faserlänge 10-15 mm, teilweise durchnässt	4 t; 28 Bigbags	24.10.2014, Derler Agrar GmbH
Tixoton (Bentonit)	Verpackt, 25 kg Papiersäcke	225 kg; 9 Säcke	23.09.2015, Fa. Pointner und Rothschädl, Zustellung durch Spedition
Kaolin	Papiersäcke, 33 kg	133 kg; 4 Säcke	11.09.2014, Firma Kamig, Abholung durch HFA
Kohleflugasche	Lose, in Kübeln zu ca. 25 kg	2 Kübel	11.09.2015, Kraftwerk Dürnrohr, Abholung durch HFA

2.1 Vorzerkleinerung bei Fa. Derler Agrar GmbH

Die Vorzerkleinerung von Rapsstroh und Weizenstroh erfolgte am 24.09.2014, am Standort von Derler Agrar GmbH, 7411 Markt Allhau, mittels mobilem Kombigerät Haybuster H1130 (Abbildungen 1a und 1b). Dieses Gerät arbeitet als Ballenauflöser und Hammermühle. Die geschlossenen Ballen werden dabei über einen rotierenden Aufsatz direkt auf den laufenden Hammermühlenrotor aufgebracht. An der Unterseite des Rotors befindet sich ein Siebeinsatz mit einer Rund-Lochung von 20 mm. Die Rotordrehzahl beträgt 2800 U/min. An der Oberseite des Rotors wird der Ballen aufgelöst. Das abgelöste Material wir durch die Bewegung des Rotors mitgenommen und verlässt an der Unterseite des Rotors durch den Siebeinsatz den Mahlraum. Der Austrag erfolgt über zwei Schnecken und ein

Steigförderband. Der Haybuster H1130 wurde mit einem Traktor vom Typ Fendt Vario 936 angetrieben (Leistung 360 PS). Der Antrieb der Mühle erfolgte über die Zapfwelle (1000 U/min).

Weiter Kenndaten:

- Sieböffnungen: Durchmesser etwa 20mm (rund)
- Gewicht der Mühle: 6.000 kg

,

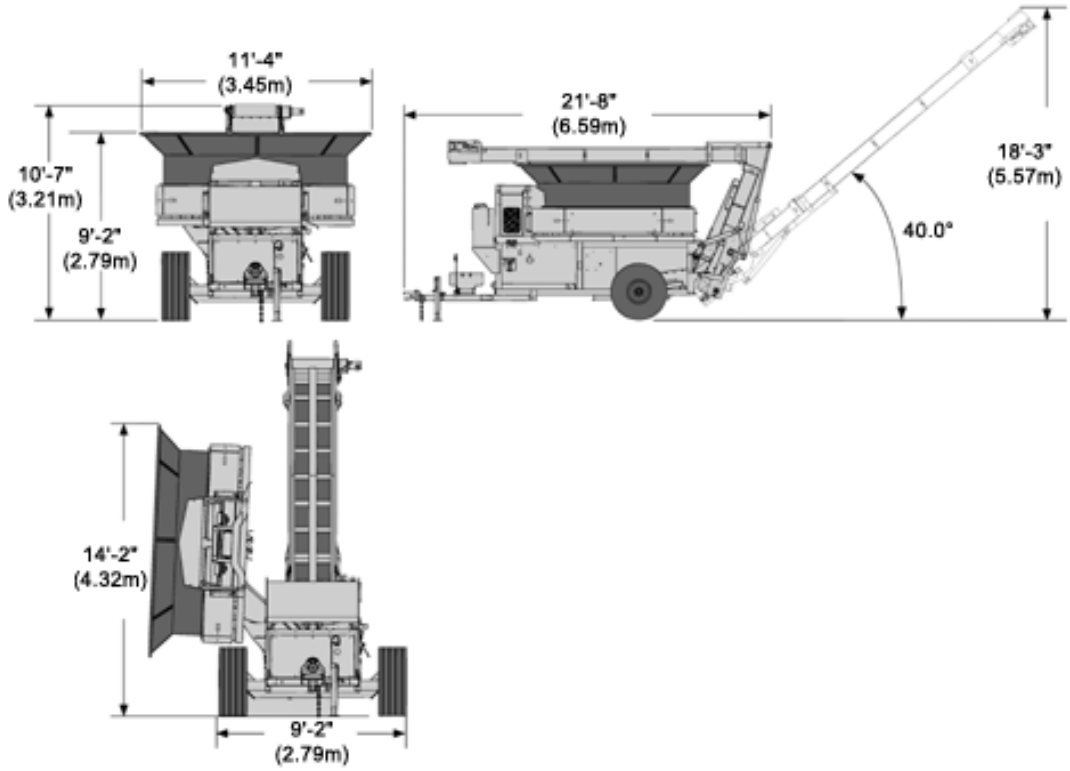


Abbildung 1a: Haybuster 1130, technische Skizze

Abbildung 1b: Herstellerbild Haybuster Tub Grinder 1130, offenes Gehäuse mit Sicht auf den Hammermühlenrotor

2.2 Arbeiten im Technikum

Tabelle 2 zeigt die Brennstoffmischungen, welche zu Pellets verarbeitet werden sollten.

Tabelle 2: Übersicht der herzustellenden Brennstoffpellets

Brennstoffmischung	Kurzbezeichnung	Masse (kg)
Maisspindel	M000	600
Maisspindel + 6% Bentonit	MBE6	1400
Weizenstroh	W000	600
Weizenstroh + 2% Kaolin	WKA2	1400
Weizenstroh + 4% Kaolin	WKA4	1400
Rapsstroh	R000	600
Rapsstroh + 4% Bentonit	RBE4	1.400
Rapsstroh + 4% Bentonit / Kohleflugasche	RBF4	1.400

2.2.1 Zerkleinerung von Maisspindelbruch

Der angelieferte Maisspindelbruch war aufgrund der Korngröße nicht pelletierfähig und wurde daher mittels Kollermühle auf eine Größe von < 6 mm zerkleinert. Die Kollermühle ist eine langsam laufende Zerkleinerungsmaschine, bei welcher das Schüttgut mit rotierenden Kollerrollen auf einer gelochten Matrize vermahlen wird. Entscheidend für die Korngröße ist in erster Linie der Lochdurchmesser der Matrize. In diesem Fall wurde eine Matrize mit 6 mm Lochung eingesetzt. Die Antriebsleistung der Kollermühle beträgt 30 kW, die Speisung erfolgt mittels einem frequenzgesteuertem mobilem Dosierbehälter und einem Förderband.

2.2.2 Konditionierung und Additivierung

Die Konditionierung (Einstellung der Endfeuchte) und Beimischung von Additiven erfolgten auf der Konditioniereinrichtung im Biomassetechnikum. Der Rohstoff wurde mittels mobilem Dosierbehälter, einem Förderband, einer Förderschnecke mit Feuchtemessung, einer Paddelschnecke mit Feuchtezudosierung (Vorbefeuchtung) und einer Zellradschleuse in einen 1,7 m³ fassenden Vorbehälter gefördert. Der Austrag vom Vorbehälter, welcher mit einem Rührwerk ausgestattet ist, erfolgte über eine Dosierschnecke und eine ansteigende Paddelschnecke. Die Paddelschnecke dient der zusätzlichen Durchmischung des Materials und insbesondere dem gleichmäßigen Materialabwurf auf die Pelletpressen. Zusätzlich kann in diese Paddelschnecke Wasser eingebracht werden (Nachbefeuchtung).

Additive können mittels Dosierschnecke sowohl auf das Förderband vor dem Vorbehälter als auch in die ansteigende Paddelschnecke direkt vor der Pelletpresse eingebracht werden.

Maisspindel und Weizenstroh wurden über den beschrieben Prozess gefördert und additiviert, wobei die Additivzugabe am letztmöglichen Punkt - direkt vor der Presse in die ansteigende Förderschnecke - erfolgte.

Sowohl die zugegebene Additivmenge, als auch die geförderte Rohstoffmenge wurden gravimetrisch durch mehrfache Messungen ermittelt. Durch Justierung der frequenzgesteuerten Antriebe wird das jeweils geforderte Mischverhältnis hergestellt. Es erfolgte eine mehrfache Kontrolle des tatsächlich im Brennstoff enthaltenen Additivs über die Bestimmung des Aschengehaltes (siehe 2.3.1).

Rapsstroh wurde als schlecht förderbares Schüttgut über einen Alternativweg in die Pressen eingebracht: Die Zuführung erfolgte hier vom mobilen Dosierbehälter mittels Förderband direkt auf die Presse. Additive wurden dabei mittels Dosierschnecke direkt auf das Förderband zugeführt.

2.2.3 Pelletierung

Die Pelletierung der Mischungen erfolgte auf der Flachmatrizenpresse Amandus Kahl 33-390 unter Verwendung verschiedener Matrizen je nach Bedarf. Alle Matrizen haben Bohrungen von 6 mm

Durchmesser, jedoch verschiedene Presskanallängen und Einlaufkonusse. Die Antriebsleistung der Maschine beträgt 30 kW. Die Anspeisung der Presse erfolgt mittels Frequenzumrichter.

Die Pellets fallen nach dem Pressen auf ein Förderband und werden durch dieses auf eine Siebanlage gefördert. Als Siebeinsatz dient ein 6 mm Maschendrahtsieb. Nach dem Sieben fallen die Pellets in einen Gleichstromkühler, welcher Chargen von 10-15 kg fasst und manuell in einen Bigbag entleert wird.

2.2.4 Massen- und Energiebilanzen

Die Massenbilanz im Pelletierprozess wird nach Gleichung (1) berechnet:

$$m_{R_{ar}} + m_{A_{ar}} + m_{\overrightarrow{H_2O}} = m_{\overleftarrow{H_2O}} + m_F + m_V + m_S + m_P \qquad (1)$$

$m_{R_{ar}}$ ... Masse des Rohstoffes im Anlieferungszustand

$m_{A_{ar}}$ ... Masse $Additiv$ im Anlieferungszustand

$m_{\overrightarrow{H_2O}}$ ... Masse $zugeführtes\ Wasser$

$m_{\overleftarrow{H_2O}} = Masse\ abgehendes\ Wasser\ (Brüden, Kondensat)$

m_F ... Masse $abgesaugter\ Feinanteil$

m_V ... Masse sonstiger $Verluste\ (Proben, Abfall)$

m_S ... Masse abgesiebte Fraktion am Endprodukt

m_P ... Masse $Endprodukt$

Aufgrund der Zielsetzung des Versuches - Produktion von Versuchsbrennstoff - wurde keine durchgängige Massenbilanz geführt.

Allgemein kann gesagt werden, dass bezüglich der Massenbilanz m_S die abgesiebte Fraktion den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Prozesses hat. Generell wird im industriellen Prozess dieser Produktstrom mit meist pneumatischer Förderung in den Primärrohstoff rezirkuliert. Je größer der Anteil an abgesiebter Feinfraktion, desto größer der Rezirkulationsgrad. Im Technikumsversuch wird in der Regel auf die Rezirkulation des Materials verzichtet, es wird lediglich die Menge des Feinanteils ermittelt.

In der Regel wird zur Erstellung der Massen- und Energiebilanz eine vollständige Lastkurve mit Teil- und Vollastzuständen bis zur oberen Lastgrenze abgefahren. Über jeden Zustand wird eine Massen- und Energiebilanz geführt, sodass eine spezifische Lastkurve gemäß Abbildung 2 erstellt werden kann. Diese Lastkurve lässt sich mit einer Exponentialfunktion modellieren und erlaubt dadurch einen

Vergleich verschiedener Pelletierprozesse auch dann, wenn nicht genau derselbe Massenvorschub gefahren wurde.

Die Aufgabenstellung im Projekt lag vordergründig in der Herstellung des Versuchsbrennstoffes, daher wurde der Prozess jeweils nur in einem Lastzustand betrieben. Deshalb ist nur für diesen spezifischen Prozesszustand eine Aussage möglich - es kann aber ein Vergleich zur Pelletierung von Fichtenholz gezogen werden, da für dieses vollständige Lastkurven zur Verfügung stehen. Über das vorhandene Lastkurvenmodell kann ein direkter Vergleich darüber gezogen werden, wie viel Energie für die Pelletierung von Holz bei der jeweiligen Dursatzleistung erforderlich wäre. Überdies wurde mittels der linearen Gleichung (2) eine Abschätzung für die jeweils maximal mögliche Durchsatzleistung für den jeweiligen Brennstoff auf der eingesetzten Presse getroffen.

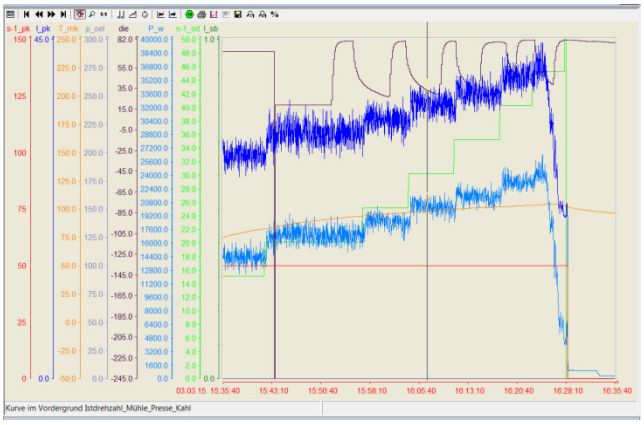
$$\dot{m}_{max} = \dot{m}_i * \frac{I_{max}}{I_i} \qquad (2)$$

$\dot{m}_{max}$ ... $Maximal\ möglicher\ Durchsatz$

$\dot{m}_i$ ... $im\ Versuch\ erzielter\ Durchsatz$

I_i ... $im\ Versuch\ bei\ \dot{m}_i\ gemessener\ Strom$

I_{max} ... $Nennstrom\ des\ verwendeten\ Antriebsmotors\ (55\ A)$



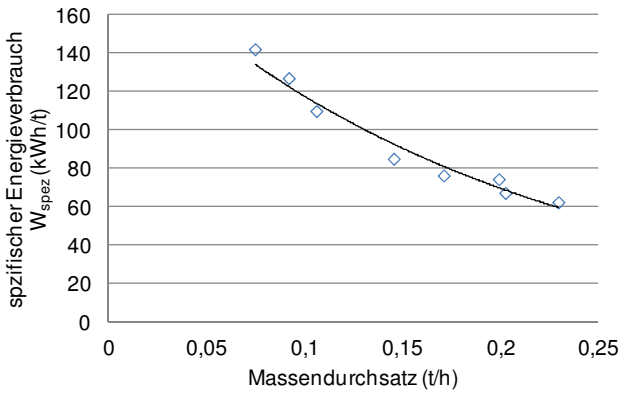


Abbildung 2: Links: Trendaufzeichung eines typischen Lastkurvenversuchs zur Ermittlung der Massen- und Energiebilanz im Pelletierprozess, Beispiel für die Pelletierung von Fichtenholz.
Rechts: die zugehörige spezifische Lastkurve zeigt den spezifischen Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Massendurchsatz, Beispiel für die Pelletierung von Fichtenholz.

2.3 Begleitende Analysen

2.3.1 Bestimmung des Additivgehaltes

Der Additivgehalt wurde nach der Pelletierung über mehrfache Bestimmung der Aschegehhalte von Rohstoff, Additiv und Endprodukt ermittelt. Die Bestimmung des Aschegehaltes erfolgte gemäß ÖNORM EN 14775 mittels Analyseautomat LECO TGA 701. Eine Probenmenge von 1 Gramm wird dabei bei 550 °C verascht. Da auch mineralische Additive einen bestimmten Wassergehalt aufweisen und bei 550 °C einem gewissen Trockenmassenverlust unterliegen, wurden auch die Additive verascht.

Der Additivgehalt c_{ad} wird anhand Gleichung (3) errechnet. Wobei A_p der Aschengehalt der Pellets, A_r der Aschengehalt des Rohstoffes und A_{ad} den Aschengehalt des Additivs, jeweils im darrtrockenen Zustand, darstellen.

$$c_{ad} = \frac{A_p - A_r}{A_{ad}} \qquad (3)$$

2.3.2 Sonstige Analysen

Die mechanische Festigkeit der Pellets wurde gemäß ÖNORM EN 15210-1 ermittelt, der Wassergehalt mittels einer Schnelldarrwaage von Typ Sartorius MA35 (siehe Abbildung 3 und 4).

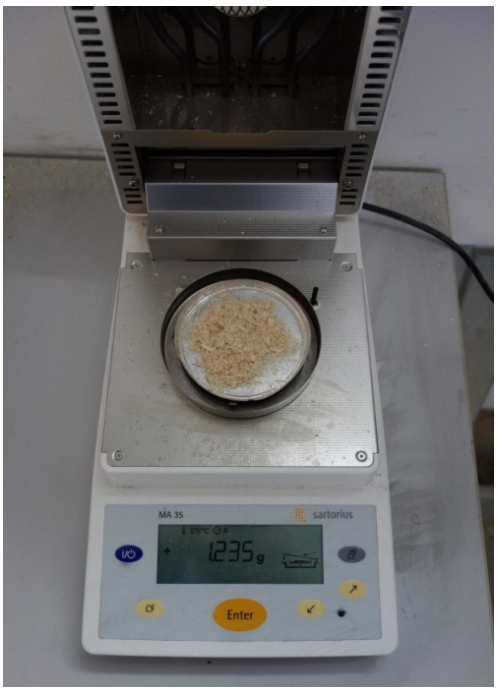


Abbildung 3 : Sartorius MA 35

Abbildung 4: Prüfgerät gemäß ÖNORM EN 15210-1

3 Ergebnisse

3.1 Zerkleinerung der Ballen mit Haybuster H1130

Für die Zerkleinerung von je 10 Ballen Rapsstroh und Wiezentroh wurden 76 l Diesel verbraucht. Von jedem Rohstoff wurden etwa 4,2 Tonnen zerkleinert. Das ergibt einen Treibstoffbedarf von 9,0 l/t bzw. einen Energieverbrauch von 90 kWh/t. Das Gerät wurde nicht im kontinuierlichen Volllastbetrieb gefahren, da zum Befüllen von Bigbags die Zufuhr unterbrochen werden musste. Es wurden ca. 2,5 t Stroh je Betriebsstunde zerkleinert (lt. Betriebsstundenzähler). Im Vollastbetrieb ist eine Stundenleistung von bis zu 8 t möglich.

Im Vollbetrieb kann laut Anlagenfahrer von einem etwas geringeren Treibstoffbedarf von ca. 8 l/t ausgegangen werden. Die Triebstoffkosten belaufen sich damit auf ca. 9 - 11 € je t (Annahme: Treibstoffpreis rund 1,15 €/l). Die Zerkleinerung von Weizenstroh verursacht etwas höhere Energiekosten als jene von Rapsstroh. Weiters ist zu beobachten, dass Weizentroh durch das Vermahlen wesentlich stärker aufgelockert wird als Rapsstroh. 4 t Weizentroh hatten nach dem Zerkleinern ein Volumen von 38m³, 4 t Rapsstroh dagegen nur 28 m³.

3.2 Massen und Energiebilanzen

In Bezug auf die Massenbilanzierung kann für die pelletierten Versuchsbrennstoffe folgendes beobachtet werden:

Maisspindel weist die günstigsten Pelltiereigenschaften auf. Es kann auf Anhieb eine hohe Produktqualität bei sehr stabilem Prozess erzeugt werden, die abgesiebte Feinfraktion m_S liegt ohne Optimierung des Prozesses deutlich unter 5 %, eine Rezirkulation war nicht erforderlich. Eine Wasserzugabe war kaum nötig, im Bedarfsfall wurden ca. 1-2 l/h zugegeben. Es wurden 2100 kg Brennstoff hergestellt. Der gesamte Rohstoff wurde zerkleinert und pelletiert. Rund 500 kg Verlust ergeben sich aus Probepelletierungen, Wasserverdampfung und Verlusten beim Umschlag.

Das zur Verfügung stehende **Weizenstroh** konnte mit durchschnittlicher Produktqualität und Prozessstabilität pelletiert werden. Das größte Problem stellte der grobe Vermahlgrad und die geringe Schüttdichte dar, wodurch nur geringe Durchsatzleistungen erzielt werden konnten. Die abgesiebte Feinfraktion liegt in einem akzeptablen Bereich unter 10 %, eine Rezirkulation war nicht erforderlich. Eine Wasserzugabe von bis zu 4 l/h war notwendig um einen stabilen Prozess zu erzielen. Es wurden 3470 kg Brennstoff hergestellt, 307 kg Rohstoff wurden nicht pelletiert. Rund 230 kg Verlust ergeben sich aus Probepelletierungen, Wasserverdampfung, und Verlusten beim Umschlag.

Das **Rapsstroh** konnte aufgrund des groben Vermahlgrades und der hohen und inhomogenen Feuchte nicht über die vorhandenen Förderschnecken und den Vorbehälter geführt werden, sondern musste mittels mobilem Dosierbehälter und Förderband in die Presse eingebracht werden. Der Wassergehalt des Rohstoffes war mit teilweise über 20 % zu hoch, sodass sehr brüchige Pellets

erzeugt wurden und teilweise über 50 % des Produktes abgesiebt und rezirkuliert werden mussten. Eine Wasserzugabe war nicht erforderlich. Es war erkennbar, dass die hohe Feuchte nach Mahlen und Füllen der Bigbags in das Material eingedrungen ist. Insbesondere die Randbereiche und die Bodenzone der Bigbags waren stark durchfeuchtet. In der Praxis muss unbedingt eine wassergeschützte Logistikkette geführt werden, um eine wirtschaftliche Pelletierung zu ermöglichen.

Es wurden 3491 kg Brennstoff hergestellt, 312 kg Rohstoff wurden nicht pelletiert. Rund 150 kg Verlust ergeben sich aus Probepelletierungen, Wasserverdampfung, und Verlusten beim Umschlag.

Tabelle 3 zeigt das Ergebnis für die Energiebilanzierung. Die Energiebilanz gilt jeweils für die Pelletierung des nicht additivierten Rohstoffes.

Tabelle 3: Energiebilanzen über den Pelletierprozess von Maisspindel, Weizenstroh und Rapsstroh, jeweils im Vergleich zu Fichtenholz.

Rohstoff	**Durch-satz**	**Spezifischer Energie-verbrauch**	**Geschätzter maximaler Durchsatz**	**Geschätzte Energie-kosten bei Volllast (0,08 €/kWh)**	**Spezifischer Energieverbrauch für die Pelletierung von Fichte bei gleichem Durchsatz**
	t/h	kWh/t	t/h	€/t	kWh/t
Maisspindel	0,390	43	ca. 0,70	2,86	46 - 50 *
Maisspindel Bentonit	0,410	46	ca. 0,65	3,07	
Weizenstroh	0,093	124	ca. 0,21	9,5	132 - 149
Weizenstroh Kaolin	0,096	133	ca. 0,19	10,5	
Rapsstroh	0,130	98	ca. 0,24	8,3	102 - 115
Rapsstroh Bentonit/Flugasche	0,135	98	ca. 0,24	8,3	

* Die Maximale Durchsatzleistung für Holz liegt bei etwa 250 kg/h. Der Vergleichswert ist für diese Durchsatzleistung berechnet.

Aufgrund des vereinfachten Versuchsdesigns wurde auf die Energiebilanzierung für die Pelletierung der additivierten Brennstoffe WKA2 und WKA4 sowie RBE4 und RBK4 jeweils zusammengefasst. Am Verlauf der Stromaufnahme kann grundsätzlich festgestellt werden, dass die eingesetzten Additive meist eine Erhöhung des Energiebedarfs sowie eine Destabilisierung der Stromaufnahme bewirken. Abbildung 5 zeigt diesen Zusammenhang beispielhaft. Die Linie I_pk zeigt die Stromaufnahme der Presse im Zeitverlauf. Die Linie I_sb zeigt die Stromaufnahme der Bindemitteldosierung im Zeitverlauf. Die ersten 50 Minuten wurde Maisspindel ohne Additiv pelletiert. Um ca. 13:25 wurde mit der Dosierung von 6 % Bentonit begonnen. Der Verlauf zeigt einen deutlichen Anstieg des Stromverbrauchs und eine Destabilisierung der Stromaufnahme, welche sich auch über den weiteren Produktionsprozess fortsetzte.

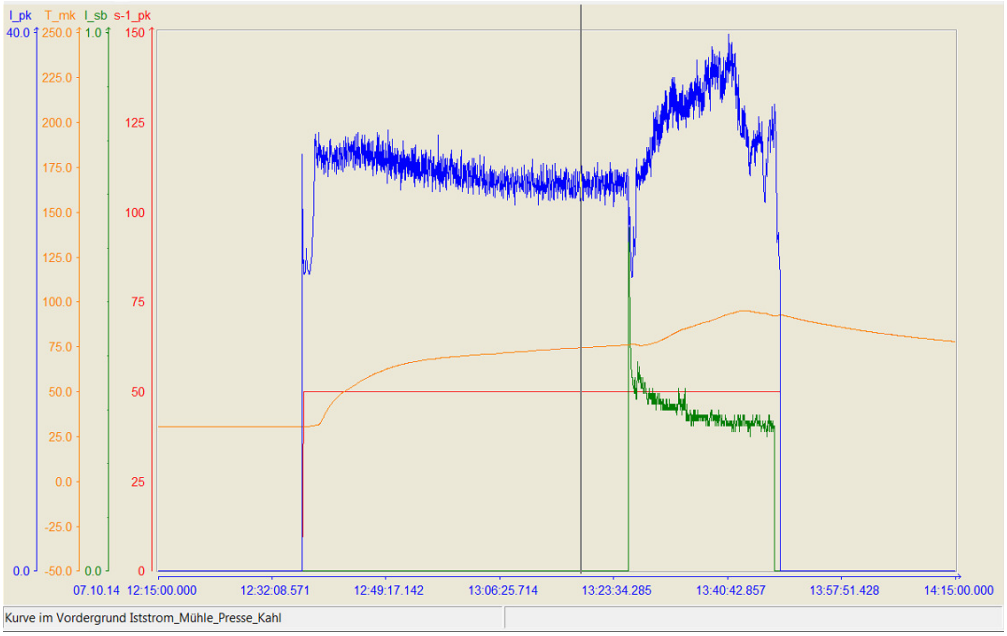


Abbildung 5: Trendverlauf bei Pelletierung von Maisspindel mit und ohne Additiverung.

3.3 Additivgehalt der Pellets

Tabelle 4 zeigt die Additivgehalte der Pellets, welche über die Bestimmung der Aschegehalte bei 550 °C und durch die Berechnung nach Gleichung (1) ermittelt wurden.

Tabelle 4: Aschegehalte und additivgehalte der pelletierten Brennstoffmischungen

Brennstoff-kennung	Aschegehalt bei 550 °C (%)	Additivgehalt Soll (%)	Addtivgehalt Ist (%)	Standard-abweichung Additivgehalt	Anzahl Messwerte (n)
M000	1,88	0	0	-	9
MBE6	7,1	6	5,6	0,7	21
W000	6,1	0	0	-	12
WKA2	8,2	2	2,3	0,3	18
WKA4	9,9	4	4,3	0,6	33
R000	7,5	0	0	-	15
RBE4	11,2	4	4,1	1,1	12
RBF4	12,8	4	5,0	0,2	6

3.4 Prozessverlauf und Pelletqualität

Feuchte: Da sämtliche Materialien mit einer Feuchte im oberen für die Pelletierung noch zulässigen Bereich angeliefert wurden, war eine Vorbefeuchtung nur geringfügig notwendig. Lediglich bei der Pelletierung von Maisspindel und Weizenstroh wurde eine geringe Wassermenge kurz vor der Presse eingesprüht. Diese Befeuchtung dient einem besseren Agglomerieren des Materials. Zu trockenes Material neigt zum "Freifahren" von Presskanälen, d.h. dass einzelne Presskanäle nicht mit kompaktiertem Material gefüllt werden, sondern offen bleiben und nicht kompaktiertes Material in Form von Feinanteil die Matrize passiert.

Störstoffe: Der zur Verfügung stehende Maisspindelbruch war verhältnismäßig stark mit metallischen Störstoffen verunreinigt (Abbildung 6). Diese wurden mittels Magnetabscheider abgeschieden und verursachten daher keine Schäden. Das Beispiel zeigt jedoch, dass Rohstoffe aus dem landwirtschaftlichen Bereich in dieser Hinsicht problematisch sein können. Die verarbeiteten Strohsorten beinhalteten keine auffälligen Störstofffraktionen.

Abbildung 6: Metallische und mineralische Verunreinigungen im Maisspindelbruch

Abnutzung: Grundsätzlich gilt, dass die Abnutzung der Presswerkzeuge d.h. Matrizen und Koller mit steigendem Aschegehalt der Rohstoffe zunimmt. Dennoch gibt es große Unterschiede in der Abnutzung je nach Zusammensetzung der mineralischen Bestandteile. Die Pelletierung der gegenständlichen Mischungen verursachte eine deutliche Abnutzung der Matrizen. Insbesondere die Mischung Weizen-Kaolin führte zu starker Matrizenabnutzung. Abbildung 7 zeigt die Matrize, mit der diese Mischung pelletiert wurde am Ende des Versuchs.

Abbildung 7: Abnutzungen an der Matrize nach der Pelletierung von Weizenstroh mit Kaolin

Pelletqualität: Fünf von acht produzierten Mischbrennstoffen wurden hinsichtlich der mechanischen Festigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt. Da die mechanische Festigkeit, neben vielen andren Faktoren, auch maßgeblich von der Länge des Presskanals abhängt, ist die jeweils verwendete Matrize ebenfalls in Tabelle 5 angegeben. Die Abbildungen 8.1 bis 8.8 zeigt das Aussehen der produzierten Pelletstypen im Maßstab 1:1.

Tabelle 5: mechanische Festigkeit der pelletierten Brennstoffe und eingesetzte Matrizen

Brennstoffkennung	**mechanische Festigkeit (%)**	**Benutzte Matrize Durchmesser/Länge des Presskanals**
M000	95,2	6/30
MBE6	94,2	6/30
W000	-	6/39,6
WKA2	95,3	6/39,6
WKA4	92,3	6/36
R000	-	6/36
RBE4	82	6/36
RBK4	-	6/36

Abbildung 8.1: Maisspindel

Abbildung 8.2: Maisspindel mit 6 % Bentonit

Abbildung 8.3: Weizenstroh

Abbildung 8.4: Weizenstroh mit 2 % Kaolin

Abbildung 8.5: Weizenstroh mit 4 % Kaolin

Abbildung 8.6: Rapsstroh

Abbildung 8.7: Rapsstroh mit 4 % Bentonit

Abbildung 8.8:Rapsstroh mit 2 % Bentonit und 2 % Kohleflugasche

4 Zusammenfassung und Diskussion

Aufgabe der vorliegend dokumentierten Arbeiten war es repräsentative Versuchsbrennstoffe in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen und in grundlegender Wiese den Produktionsprozess zu bewerten.

Die Pelletierung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten ist ein gangbarer Weg um diese problematischen Brennstoffe einerseits zu verdichten, andererseits mit mineralischen Additiven auszustatten. Es konnten Brennstoffe in einem kontinuierlichen Prozess mit den beabsichtigten Additivmengen versetzt und auch pelletiert werden. Die erzielte Pelletqualität war ausreichend, um eine einfache Logistikkette zu versorgen und konnte problemlos in die eingesetzte Versuchsfeuerung eingebracht werden.

Alle getesteten Rohstoffmischungen lassen sich in kontinuierlichem Betrieb zu Schüttdichten über 600 kg/³m verdichten und es sind mechanische Festigkeiten über 90 % erreichbar. Maisspindeln können problemlos zu sehr festen Pellets mit über 98 % mechanischer Festigkeit verarbeitet werden, wodurch der Einsatz auch für längere Logistikketten und anspruchsvollere Fördersysteme möglich ist. Mineralische Additive neigen stark dazu, sich vor der Verdichtung in der Förderanlage zu entmischen und sollten daher möglichst kurz vor der Pelletpresse dem Rohstoff beigemischt werden. Es darf nach der Rohstoffbeimengung keine Befeuchtung mehr erfolgen, da es sonst zu starken Ablagerungen kommt. Dies gilt insbesondere für Bentonit. In einem kontinuierlichen Betrieb können mineralische Additive zu einer Destabilisierung des Prozesses führen, es ist u.U. notwendig, mit höheren Materialfeuchten zu arbeiten, um Stromschwankungen und Verschleiß zu reduzieren. Hier ist u.U. der zusätzliche Einsatz stärkehaltiger Additive nützlich, da diese einerseits schmierende Wirkung besitzen und andererseits aufgrund der Bindeeigenschaften eine Verkürzung des Presskanals erlauben.

Die Energiekosten beschränken sich für die eingesetzten Brennstoffe auf elektrische Energie, da keine Trocknung erforderlich ist. Die Energieverbrauchsdaten für eine Industrieanlage sind nicht gleich wie bei einer Technikumsanlage, sondern aufgrund von Skalierungseffekten etwas geringer. Als optimale Anlagengröße hat sich für Brennstoffpellets eine Durchsatzmenge von 4-5 t/h für eine Presse erwiesen. Für eine Anlagengröße von 4 t/h, d.h. ca. 25 kt/a, ist für Strohpellets mit einem gesamten elektrischen Energieverbrauch von 80-100 kWh/t zu rechnen, was derzeit Energiekosten von ca. 6,4 - 7 €/t entspricht. Diese Kosten decken den Energieverbrauch für Ballenaufriss, Zerkleinerung Fördertechnik und Pelletierung ab. Die Ergebnisse der Technikumsversuche in Tabelle 3 zeigen, dass der Energieaufwand für die verschiedenen Rohstoffe schwankt. Die geringsten Gesamtenergiekosten der erzeugten Brennstoffe sind hochgerechnet auf eine Anlage mit 4 t/h für additivierte Maisspindel bei ca. 3 bis 4 € /t zu erwarten und liegen bei additiverem Weizenstroh geschätzt bei ca. 7 bis 8,5 €/t.

Fixe Kosten: Die Investition für ein Pelletwerk dieser Größe in Kompaktbauweise ohne Aufschluss- und Baukosten, inklusive Flugdach für Ballenlagerung, Ballenaufreißer, Siloanlagen, Luftreinigung, Pelletier- und Fördertechnik für lose Verladung ist bei etwa 3 Mio. € anzusiedeln (Information Fa.

Teccon). Bei einer Abschreibungsdauer von 12 Jahren und einer Jahresproduktion von 25 kt ergibt dies eine Belastung von 10 €/t.

Die Kosten für Matrizen liegen bei der Pelletierung von Holz bei 0,5 bis 1 €/t. Für die Pelletierung der additiveren Brennstoffe muss mit Matrizenkosten von 1 bis 2 €/t gerechnet werden. Die Rohstoffauswahl für Matrizen kann zwei verschiedenen Strategien folgen: Entweder Einsatz sehr hochwertiger, hochlegierter Stähle oder Einsatz von günstigeren Kohlenstoffstählen. Meist ist bei hoch abrasiven Rohstoffen der Einsatz günstiger Matrizen sinnvoller.

Es ist zu beachten, dass Siloanlagen für die Vorhaltung von Additiven in ausreichender Größe dimensioniert werden müssen. Die Silo- und Fördertechnik für Stroh muss aufgrund der geringen Schüttdichte des aufgemahlenen Strohs (80-100 kg) ausreichend groß dimensioniert werden. Anlagen für die Verarbeitung von Maisspindel ermöglichen eine kompaktere Bauweise. Die Zerkleinerung von Maisspindel mittels Kollermühle kann empfohlen werden, da hierbei auf Explosionsschutz verzichtet werden kann und die Schüttdichte zusätzlich erhöht wird, wodurch alle nachgelagerten Fördereinrichtungen kleiner dimensioniert werden können. Die Zerkleinerung von Strohballen sollte bevorzugt mit stationären elektrisch betriebenen Anlagen durchgeführt werden, im Fall von Hammermühlen sollten Siebeinsätze kleiner als 12 mm verwendet werden.