

Greifer-Kransystem statt Förderschnecke – zukunftsfähig

Ass.Prof. DI Dr.techn. Christian Landschützer
Dipl.-Ing. Alexander Ortner-Pichler
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Jodin
TU Graz – Institut für Technische Logistik
Inffeldgasse 25e, 8010 Graz
landschuetzer@tugraz.at

Dipl.-Ing. Dr. Thomas Brunner
Dipl.-Ing. Gerald Würcher
BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Hedwig-Katschinka-Straße 4, 8020 Graz
brunner@bios-bioenergy.at

Im Rahmen des Projekts „Wood chip feeding technology of the future for small-scale biomass boilers“ (Kurztitel „BioChipFeeding“) wird ein innovatives Hackgutfördersystem entwickelt, das auf der Entnahme der Hackschnitzel an der Oberseite des Bunkers unter Verwendung eines Hackschnitzelgreifers basiert. Ein umfassendes sensorisches Konzept, das der Erfassung der Hackschnitzelqualität dient, ermöglicht eine bedarfsorientierte Versorgung der Feuerung (bis 400 kW) und damit eine wirkungsgradoptimierte und emissionsreduzierte Verbrennung.

Der Beitrag stellt die Grundzüge des Projekts dar und zeigt die vielversprechenden ersten Ergebnisse bzgl. Tests mit den Sensoren und der Steuerung auf und beschreibt weiters das detaillierte Design des innovativen Greifers. Erste Ergebnisse von Testläufen mit einem Prototyp sowie ein Ausblick auf weitere Schritte im Projekt und zukünftige Anwendungsmöglichkeit runden die Darstellung ab.

1 Projekt BioChipFeeding

Derzeit werden pro Jahr rund 700.000 Biomassekessel im Leistungsbereich von 50 bis 400 kW_{th} europaweit verkauft. Die momentan verwendeten Brennstofffördersysteme stellen für diese Kleinanlagen einen der größten Schwachpunkte dar. Sie sind für 80 bis 90% aller unerwarteten Abschaltungen verantwortlich, tragen zu einem erhöhten Emissionsausstoß und reduzierter Effizienz des Gesamtsystems bei und verbrauchen unverhältnismäßig viel Energie für den Fördervorgang. Die in vielen Austragungssystemen verwendete Entnahme der Hackschnitzel an der Unterseite des Hackschnitzelbunkers bringt weitere Nachteile mit sich: die massiv auszuführenden Konstruktionen (beispielsweise Federblattrührwerke und Schubböden) sind verschleißempfindlich, aufwändig in der Wartung und kostenintensiv im laufenden Betrieb.

1.1 Projektziele

Eine relevante Verbesserung wird durch die Entwicklung eines Hackgutfördersystems erreicht, welches auf der Entnahme der Hackschnitzel an der Oberseite des Bunkers basiert. Eine Kernkomponente dieses innovativen Systems stellt ein Hackgutgreifer dar, welcher mit Sensorik zur Erfassung der Korngrößenverteilung und der Feuchte des Brennstoffes ausgerüstet ist. Durch dieses Konzept wird eine selektive Entnahme und somit eine, an den jeweiligen Betriebszustand angepasste, Brennstoffversorgung der Biomassefeuerung ermöglicht. Durch diese Maßnahmen sollen die Effizienz des Gesamtsystems gesteigert sowie die Betriebs- und Wartungskosten gesenkt werden.

2 Entwicklungsprozess

2.1 Übersicht des Gesamtsystems, Gliederung der Teilsysteme

Abbildung 1 zeigt eine CAD-Darstellung einer möglichen BioChipFeeding-Anlage: Das in einem Bunker gelagerte Hackgut wird durch einen, an einem Kran befestigten, Hackgutgreifer (Abbildung 3 – Entwicklung der TU Graz, Institut für Technische Logistik) in einen Zwischenbehälter befördert, in dem Hackgutsortimente unterschiedlicher Qualitäten zur einer bedarfsoptimierten Zielqualität vermischt werden.

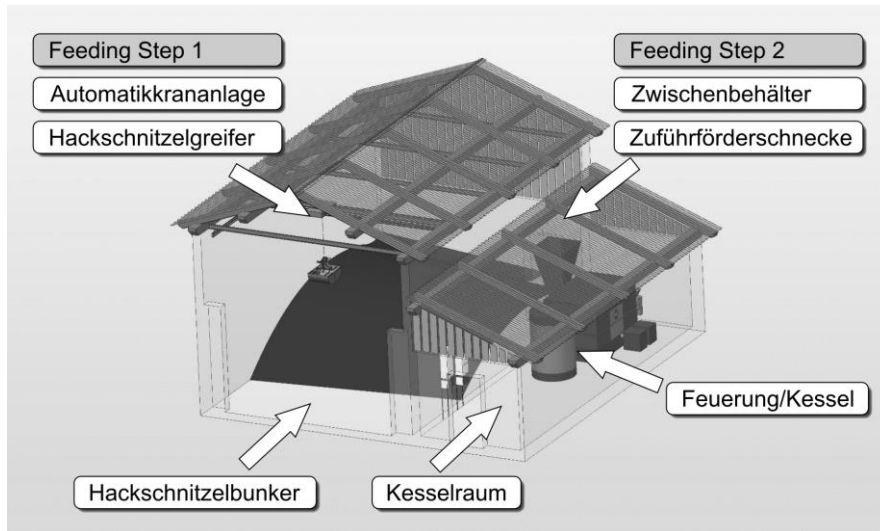


Abbildung 1: CAD-Darstellung einer BioChipFeeding-Anlage [1]

Zur Bewegung des Hackgutgreifers wird eine modifizierte Variante des ZHB-Systems von ABUS Kransysteme in Kombination mit einem Elektrokettenzug verwendet. Das eigentlich nur für einen manuellen Betrieb ausgelegte Kransystem wurde durch die Nachrüstung von Laserdistanzsensoren zur Bestimmung der Laufkatzen- und Kranposition für einen Automatikbetrieb erweitert.

Ausgehend vom Zwischenbehälter wird das Hackgut durch einen, im Rahmen des Projekts von der TU München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, mittels DEM (Discrete Element Method) Simulationen konstruktiv verbesserten Zuführschneckenförderer weiter zur Zellschleuse und danach über eine Einschubschnecke in die Feuerung transportiert.

Das Hackgutfördersystem wird durch ein auf einem Industrie-PC implementiertes Steuerungssystem angesteuert, das über eine MODBUS-Schnittstelle mit der Feuerungsregelung kommunizieren kann. Nachdem die Feuerungsregelung den aktuellen Betriebszustand an das Steuersystem der BioChipFeeding-Anlage gemeldet hat, entscheidet ein im Rahmen des Projektes von der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, Graz, und der Fraunhofer Italia Research, Bozen, entwickelter Mischalgorithmus, basierend auf den im Hackgutbunker verfügbaren Qualitätsklassen und einer leistungsabhängigen Qualitätsanforderungsmatrix, die vom Betreiber vorgegeben werden kann, welche Mengen entsprechender Qualitäten dem Zwischenbehälter zugeführt werden sollen.

2.2 Methodische Entwicklung des Greifers

Der Hackgutgreifer (siehe Abbildung 2) wurde unter Zuhilfenahme der VDI Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ [2] entwickelt.

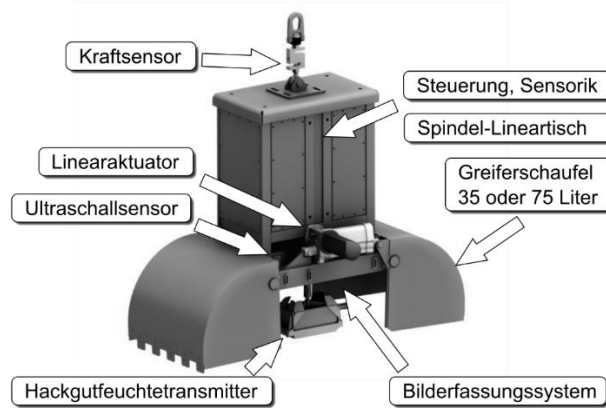


Abbildung 2: Hackgutgreifer (35 Liter)

Durch das methodische Vorgehen, anfangend bei der Analyse und Strukturierung der Funktionen und weiterführend durch die Suche und Kombination von Lösungsprinzipien (siehe Abbildung 3), konnte eine Modulgliederung geschaffen werden, die großen Spielraum für die Integration der notwendigen Sensorik bietet und eine flexible Anpassung an die Feuerungsgrößen ermöglicht.

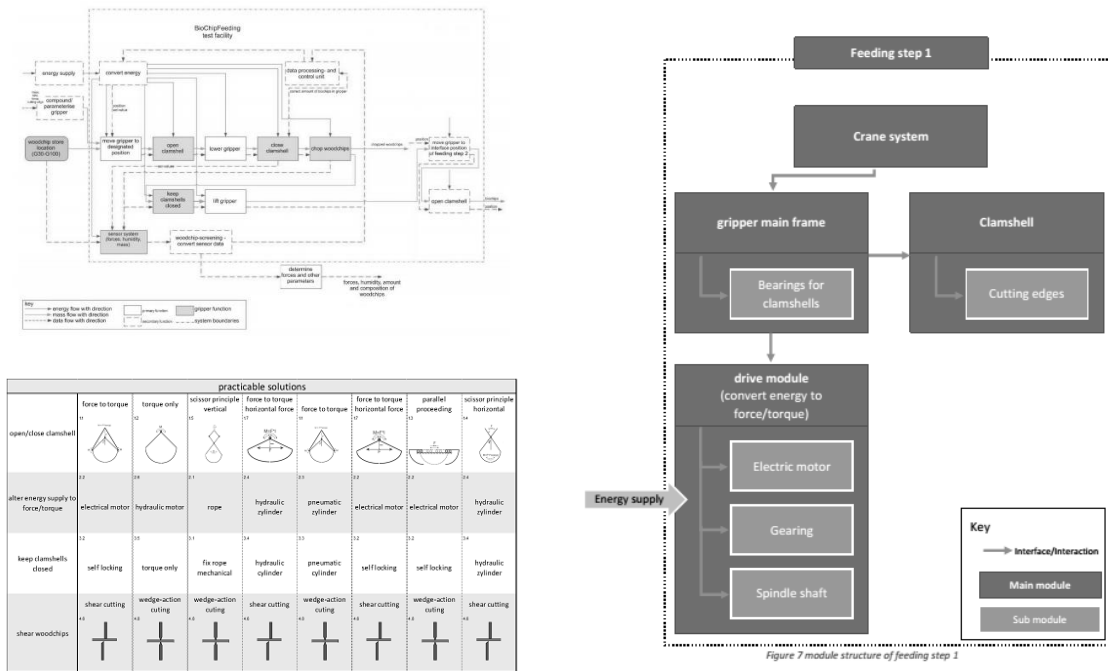


Abbildung 3: links – Analyse der Funktionen und Lösungsprinzipien; rechts – Modulgliederung

2.3 Sensorisches Konzept des Greifers

Um den entwickelten Mischalgorithmus mit den notwendigen Daten zu versorgen, wurde ein umfassendes sensorisches Konzept entwickelt. Einerseits werden die Position und Lage des Hackgutgreifers im Bunkerraum erfasst und andererseits wird die Bestimmung der Hackgutqualität ermöglicht. Nachstehend sind die integrierten Sensoren ihren Messaufgaben zugeordnet:

- **Masse des geladenen Hackguts:** Kraftsensor (Fa. ME-Meßsysteme)
- **Vertikalposition Greifer:** Seilzugwegaufnehmer (Fa. Waycon) und Ultraschallsensor (Fa. Wenglor=)
- **Horizontalposition Greifer (längs und quer der Kranbahn):** Laserdistanzsensoren (Fa. Sick)
- **Neigung des Hackgutgreifers:** Beschleunigungssensoren (Fa. ME-Meßsysteme)

- **Hackgut-Feuchtegehalt:** Hackgutfeuchte-Transmitter (Humimeter, Fa. Schaller)
- **Korngröße und Farbe des Hackguts:** im Rahmen des Projekts entwickeltes Bildverarbeitungssystem
- **Winkelposition der Schaufeln des Hackgutgreifers:** Integrierter Inkrementalgeber der Linearmotoren (Fa. ATP Antriebstechnik)

Zur Erfassung der Korngröße des Hackguts wurde an der TU Graz ein Bilderfassungssystem entwickelt, das auf der Rekonstruktion von drei-dimensionalen Abbildungen der Hackgutoberfläche basiert. Durch die synchrone Bildaufnahme von zwei, in einem definierten Abstand zueinander befindlichen, Kameras und die Anwendung eines Plane-Sweep-Algorithmus (siehe [3]) zur Bestimmung übereinstimmender Abbildungspunkte, wird ein dreidimensionales Abbildung rekonstruiert. Unter Zuhilfenahme der rekonstruierten Tiefeninformationen ist es möglich, eine zuverlässige Segmentierung der Oberfläche des Hackgutbunkers in unterschiedliche Brennstoffqualitäten durchzuführen. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis dieser Segmentierung: die Kanten der Hackschnitzel werden mit sehr guter Genauigkeit erkannt. Neben der Berechnung der durchschnittlichen Korngröße, wird das Bilderfassungssystem auch dazu eingesetzt, übergroße Hackschnitzel und Ansammlungen von Sägespänen zu identifizieren.

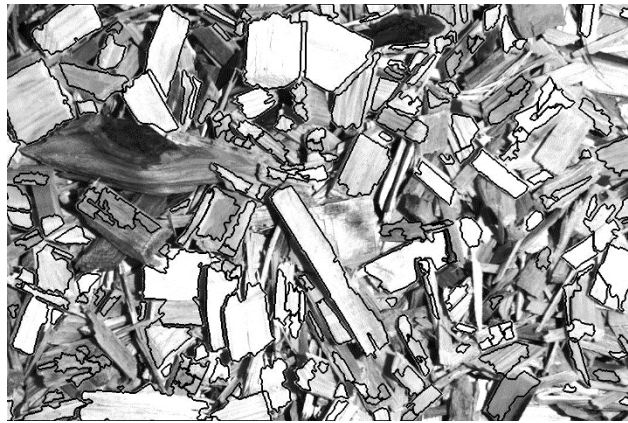


Abbildung 4: Segmentierung der Oberfläche des Hackschnitzelbunkers]

3 Kommunikation mit und Einfluss auf die Verbrennung

3.1 Interaktion des Austragungssystems mit der Hackschnitzelfeuerung

Eine der Kernkomponenten des neuen Gesamtsystems ist die Interaktion des Austragungssystems mit der Feuerung. Dazu wurde von der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH (Pflichtenhefterstellung bzgl. brennstoff-, verfahrens- und feuerungstechnischer Aspekte) in Kooperation mit Fraunhofer Italia (hardware- und softwaremäßige Umsetzung) eine entsprechende Steuerung entwickelt. Diese kann mittels der Sensoren (vgl. Abschnitt 2.3) Informationen über den eingelagerten Brennstoff sammeln. Es erfolgt dabei eine Einteilung in Qualitätsklassen auf Basis von Feuchtigkeitsgehalt, Rindenanteil (aus dem mit den Kameras erfassten optischen Eindruck abgeschätzt) und Partikelgröße. Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine stark vereinfachte Klassifizierungstabelle, deren genaue Definition durch den Nutzer erfolgen kann.

Über die bekannte Position des Greifers im Raum wird eine virtuelle Karte des Bunkers erstellt. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für eine solche Karte für einen Bunker mit einer Grundfläche von zwölf mal acht Metern und einer Auflösung von einem Meter in beide Richtungen. Über diese Karte steht der Steuerung die Information bereit, welche unterschiedlichen Brennstoff-Qualitätsklassen im Bunker vorhanden sind. Entsprechend einer vom Nutzer konfigurierbaren Zuordnungstabelle können nun bevorzugte Brennstoffqualitäten für unterschiedliche Betriebsszenarien (z.B.: Teillast, hohe Last,

Nennlast) definiert werden. Die Greifersteuerung versucht dann, die jeweils gewünschte Brennstoffqualität durch Mischung einzelner Qualitäten im Zwischenbehälter herzustellen. Wie aus Abbildung 5 zu erkennen ist, lassen sich auch Hackgut-Klassen als für den alleinigen Einsatz ungeeignet („meiden“) einstufen (z.B: sehr feuchtes Material mit hohem Aschegehalt). Ein übergeordnetes Ziel der Steuerung besteht darin, in einem ersten Schritt diese Brennstoffsortimente durch entsprechendes Mischen mit besseren Qualitäten einsetzbar zu machen.

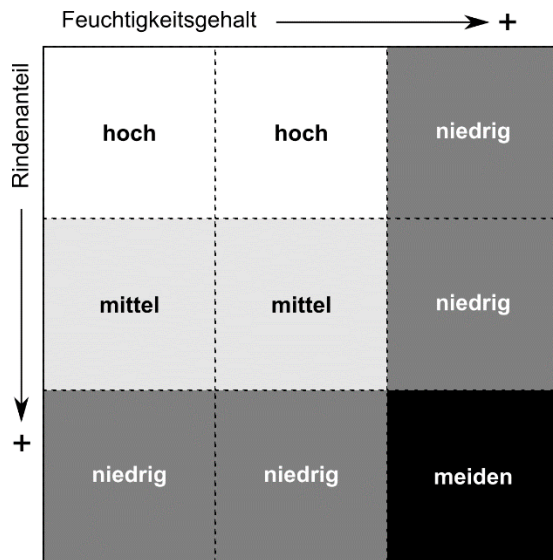


Abbildung 5: Beispielhafte, vereinfachte Darstellung der Einteilung von Holz-Hackgut in verschiedene Qualitätsklassen

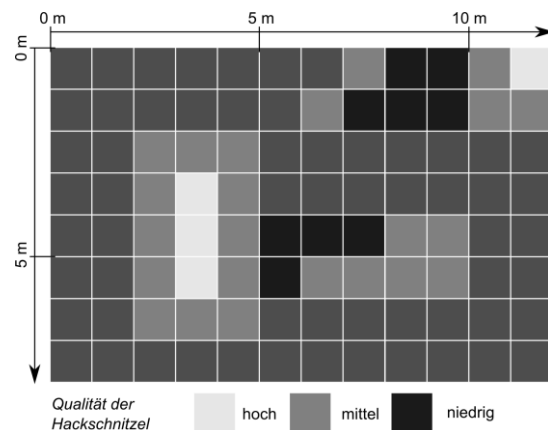


Abbildung 6: Karte mit eingezeichneten Holz-Hackgut-Qualitätsklassen für einen Bunker mit einer Grundfläche von 12 m x 8 m.

Die Einteilung und die Information über unterschiedliche im Bunker befindliche Hackgut-Klassen eröffnen die Möglichkeit, lastspezifisch die zugeführte Brennstoffqualität anzupassen. Da der Feuerung die Informationen zur aktuellen Brennstoffqualität on-line zur Verfügung gestellt werden, kann auch die Parametrierung der Verbrennungsregelung auf die jeweils zugeführte Hackqualität abgepasst werden, um beispielsweise höhere Wassergehalte oder Aschegehalte besser zu beherrschen. Dies ist der wohl größte Vorteil gegenüber einer Feuerung mit konventioneller Brennstoffbeschickung, die mangels konkreter Brennstoffdaten in nur einer einzigen Einstellung pro Betriebspunkt betrieben werden kann.

Kombiniert man die zweidimensionale Qualitätskarte aus Abbildung 5 mit Informationen über die Lagerhöhe, kann Hackgut – in Abstimmung mit der von der Feuerung geforderten Qualität – bevorzugt von hohen Stellen entnommen werden, um den Bunker gleichmäßig zu entleeren oder es können Anlieferstellen gezielt freigelegt werden.

4 Umsetzung: Testläufe bei BIOS und Testanlage bei HDG in Massing

Um das neue System experimentell zu validieren, wurde bei der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH in Graz eine Versuchsanlage bestehend aus einem Greifer samt Steuerung, dem Zwischenbehälter und einer 50 kW Hackgutfeuerung installiert. Ziel der an dieser Anlage durchgeführten Testläufe war es, die Auswirkungen der gezielten Mischung unterschiedlicher Brennstoffqualitäten auf den Anlagenbetrieb (speziell auf die Emissionen) im Detail zu untersuchen und die Regelung der neuen Fördertechnik sowie deren Schnittstellen zur Verbrennungsregelung schrittweise zu optimieren. Dazu wurden 4 Brennstoffsortimente (trocken/aschearm, sehr feucht/aschearm, trocken/aschereich, sehr feucht/aschereich) in separaten Containern gelagert und mit dem Greifer dem Zwischenbehälter zugeführt. Es wurden sowohl mit den Einzelsortimenten als auch mit den

aus der BioChipFeeding Steuerung resultierenden Mischungen Testläufe bei Nennlast, 40% Teillast sowie unter Anwendung eines 8-Stunden Lastzyklus, der ähnlich dem Feldbetrieb unterschiedliche Lastszenarien durchfährt, durchgeführt. In Abbildung 7 sind beispielhaft die mittleren O₂-Gehalte und CO-Emissionen, die während der Lastzyklen-Tests mit Einzelsortimenten sowie der Mischung ermittelt wurden, dargestellt. Man kann erkennen, dass die CO-Emissionen im Mischungsbetrieb zwar etwas höher als bei Einsatz der besten Brennstoffqualität (M10-A1) sind, im Vergleich zum alleinigen Einsatz von aschereichen und nassen Material jedoch eine signifikante Emissionsminderung erzielt werden konnte. Außerdem liegt der durchschnittliche Luftüberschuss nur geringfügig über dem während der Testläufe mit dem Referenzmaterial aber deutlich unter denen mit den qualitativ schlechteren Sortimenten, was sich positiv bzgl. des Wirkungsgrades auswirkt. Des weiteren zeigte sich, dass Probleme mit Schlackenbildung bei Einsatz von aschereichen Material in den Mischungen nicht auftraten. Es konnte somit experimentell nachgewiesen werden, dass die gewählte Brennstoff-Mischungsstrategie zu erheblichen Verbesserungen des Anlagenbetriebs auch bei Einsatz problematischer Sortimente führt.

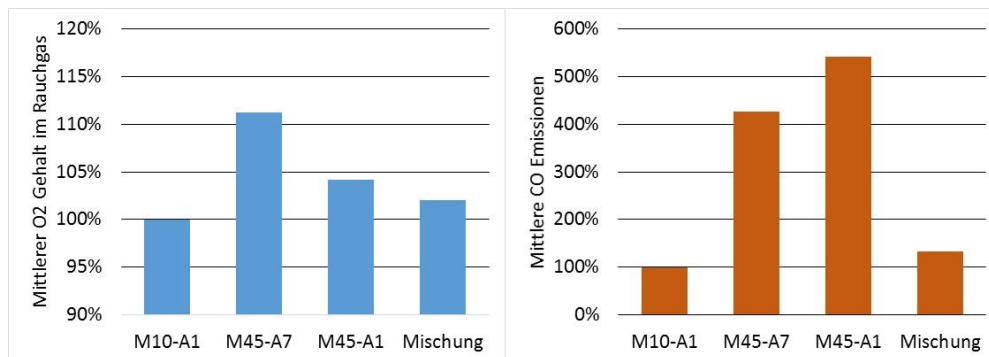


Abbildung 7: Mittlere O₂- und CO-Gehalte im Rauchgas relativ zum Betrieb mit qualitativ sehr hochwertigem Hackgut (M=Wassergehalt in Gew% FS, A= Aschegehalt in Gew% TS)

Zur Durchführung von Langzeittests des BioChipFeeding-Hackgutfördersystems wurde am Betriebsgelände des Projektpartners HDG Bavaria (Massing, Deutschland) eine Prototyp-Anlage errichtet, die den bestehende 400 kW-Kessel mit Hackgut speist (siehe Abbildung 8) Für das Fördersystem wurde eine Krananlage installiert, die den gesamten neun mal sechs Meter großen Bunkerraum bedienen kann und den mit einer 75 Liter-Schaufel ausgerüsteten Hackschnitzelgreifer an die vom Mischalgorithmus bestimmte Position bewegt.

Da der Hackschnitzelbunker von mehreren Seiten zugänglich ist und die Anlage im Regelfall im Automatikbetrieb operiert, wurde ein umfassendes Sicherheitskonzept erstellt, das die Anlage in einen ungefährlichen Zustand fährt und abschaltet, sobald sich Personen im Bewegungsraum der Krananlage befinden.



Abbildung 8: Prototypenanlage in Massing, Deutschland

5. Zusammenfassung und Ausblick

Auf die Gesamtanlage bezogen, bringt die neue Hackgut-Fördertechnik folgende Vorteile:

- Neben geringeren Betriebs- und Wartungskosten kann eine selektive Entnahme des Hackguts realisiert werden.
- Die für den Fördervorgang aufzuwendende Energie ist im Vergleich zu anderen Austragungssystemen (z.B. Schubboden) deutlich geringer.
- Die im entwickelten Hackgutgreifer verbaute Sensorik ermöglicht die bedarfsorientierte Versorgung der Feuerung entsprechend des gegenwärtigen Betriebszustandes. Die durchgeführten Testläufe zur Validierung und schrittweisen Optimierung der Messgenauigkeit und der Evaluierung der Auswirkungen auf die Verbrennungsqualität zeigen die Vorteile des implementierten sensorischen Konzepts.
- Durch die gezielte Auswahl des Brennstoffs sind ein niedrigerer Schadstoffausstoß und eine bessere Effizienz der Gesamtanlage erzielbar.
- Durch die gezielte Mischung von Brennstoffsortimenten unterschiedlicher Qualität lassen sich auch Probleme mit Verschlackungen stark reduzieren.

Nach dem Abschluss des Projekts BioChipFeeding im Oktober 2015 wird das System vom Projektpartner HDG Bavaria in das Produktionsprogramm aufgenommen. Erste, von BIOS in Kooperation mit der HET Heiz- & Energietechnik Entwicklungs-GmbH durchgeführte techno-ökonomische Analysen zeigen, dass das System zu marktgängigen Preisen angeboten werden kann.

6. Danksagung

Das Projekt wurde von der Europäischen Union im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms unter „BioChipFeeding (606464)“ gefördert. Das Projektkonsortium bilden:

- HET Heiz- & Energietechnik Entwicklungs-GmbH (Projektkoordinator), AT
- HDG Bavaria GmbH, DE
- Institut für Technische Logistik und Institut für Computer Graphik und Wissensvisualisierung (TU Graz), AT
- Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik (TU München), DE
- BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, AT
- Fraunhofer Italia Research s.c.a.r.l., IT
- Sinte S.R.L., IT

Literatur

- [1] BioChipFeeding Konsortium: Wood chip feeding technology of the future for small-scale biomass boilers. Verfügbar als Abbildung unter <http://biochipfeeding.com/> (Datum des Zugriffs: 01.07.2015)
- [2] VDI 2221, Verein Deutscher Ingenieure, 1993: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte (VDI 2221), Beuth Verlag GmbH, Düsseldorf
- [3] Bauer, J., Zach, C., Karner, K., & Bischof, H.; Efficient sparse 3d reconstruction by space sweeping. In 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, Third International Symposium on. IEEE, 2006, Seiten 527-534