Abschlussbericht
Optimierung regionaler Kreisläufe

Förderkennzeichen:	**03KB053 (Achental)**
Förderzeitraum:	**01.12.2010 bis 31.08.2013**
Voller Vorhabentitel:	**Optimierung regionaler Kreisläufe zur Bereitstellung biogener Brennstoffe für Energieerzeugungsanlagen am Beispiel Biomassehof Achental**
Projektleiter:	**Herr Wolfgang Wimmer**
Lokale Projektträger:	**Biomassehof Achental GmbH & Co. KG (03KB053A)** ***und*** **agnion Operating GmbH & Co. KG (bis 27.05.2013)** **bzw. agnion energy GmbH (ab 28.05.2013) (03KB053B)**

Gefördert durch:
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Grassau, Pfaffenhofen, Graz im Herbst 2013

Danksagung

Wir möchten uns beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) für die finanzielle Unterstützung dieses Vorhabens bedanken. Ohne die Förderung wären die Untersuchungen zur „Optimierung regionaler Kreisläufe“ nicht möglich gewesen.

Des Weiteren möchten wir uns auch beim Projektträger Jülich (PtJ) für die stets angenehme und entgegenkommende Zusammenarbeit bedanken. Die äußerst professionelle fachliche und administrative Betreuung des Projekts, auch und gerade in schwierigen Zeiten, hat uns die Arbeit sehr erleichtert.

Auch bei allen Kollegen bei agnion und dem Biomassehof Achental möchten wir uns bedanken, die zum Gelingen des Projekts durch Ihre Unterstützung in Theorie und Praxis wesentlich beigetragen haben.

Die Autoren:

Bernhard Schauberger, Josef Huber, Dr. Christian Epp, Wolfgang Wimmer

Gerald Binder, Dr. Thomas Kienberger, Martin Oelkers

Inhaltsverzeichnis

Danksagung 2
Inhaltsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 4
Abbildungsverzeichnis 4
Kurzfassung 5
Aufgabenstellung und Voraussetzungen 6
Planung und Ablauf des Vorhabens 7
Vorheriger wissenschaftlicher und technischer Stand 8
Aufbereitung von Biomasse 8
Holzvergasung 10
Zusammenarbeit mit anderen Stellen 16
Detaillierte Ergebnisse 18
Ergebnisse und Ziele nach Arbeitspaketen 18
Gesamtergebnis 34
Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 35
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 36
Aufbereitung von Biomasse 36
Entwicklung und Einbindung des Heatpipe-Reformers 37
Nutzen und Verwendung der Ergebnisse 37
Wissenschaftliche Verwertung 37
Wirtschaftliche Verwertung 37
Fortschritte bei anderen Stellen 38
Aufbereitung von Biomasse 39
Holzvergasung 39
Veröffentlichung der Ergebnisse 39
Anhang 41
Abkürzungsverzeichnis 41
Anlagen 41
Literatur 42
Bilder 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitspakete im Vorhaben mit erwarteten Ergebnissen und Zeitplanung 7
Tabelle 2: Brennstoffe, die auf ihre Tauglichkeit für die Verwertung in verschiedenen Energieerzeugungsanlagen untersucht wurden (LPM = Landschaftspflegematerial, KUP = Kurzumtriebsplantagenholz) 18
Tabelle 3: Brennverhalten und Energieinhalt der verschiedenen getesteten Brennstoffe (W = Wassergehalt).....23
Tabelle 4: Abgaswerte der Brennstoffe aus Tabelle 3 (Durchschnitt über einen zweistündigen Messzeitraum).....23
Tabelle 5: Bilanzergebnisse des Heatpipe-Reformers in Grassau mit NawaRo-Holzpellets 24
Tabelle 6: Bilanzergebnisse des Betriebs mit Holzhackschnitzeln (Messpunkt 1).....25
Tabelle 7: Bilanzergebnisse des Betriebs mit Holzhackschnitzeln (Messpunkt 2).....26
Tabelle 8: Treibhausgas-Einsparungen am Biomassehof Achental 35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der drei Anlagen am Standort des Biomassehofs Achental in Grassau. Die "Optimierung" bezieht sich auf die Stoffströme dazwischen 7
Abbildung 2: Allgemeine Aufbereitungskette von Biomasse-Rohstoffen zu Brennstoffen verschiedener Qualität am Beispiel Biomassehof Achental (BAT) 9
Abbildung 3: Prinzip der separaten Wärmeerzeugung (nach [Rauch 2002]).....11
Abbildung 4: Prinzip eines FICFB-Vergasers (nach [Rauch 2002]) 12
Abbildung 5: Aufbau eines agnion-Heatpipe-Reformers: Zwei getrennte Reaktionskammern sind durch Heatpipes verbunden (somit allotherm) und erzeugen Synthesegas aus Biomasse und Wasserdampf (Quelle: agnion).....12
Abbildung 6: Funktionsweise der Heatpipes: Wärme wird durch ein zirkulierendes Arbeitsmedium übertragen, das dabei seinen Phasenzustand verändert.....13
Abbildung 7: Funktionsweise des „Blauen Turms“: Die drei Schritte zur Erzeugung von Synthesegas finden in getrennten Kammern statt 14
Abbildung 8: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Gaszusammensetzung der Versuche 27
Abbildung 9: Koksmassenstrom, H2/CO-Verhältnis und Wasseranteil der Versuche 27
Abbildung 10: Teergehalt der Versuche 28
Abbildung 11: Besucher im Vortragssaal 33
Abbildung 12: Führung durch den Heatpipe-Reformer 33
Abbildung 13: Aufbereitungswege für verschiedene Rohstoffe und Verwertungen am Biomassehof Achental 43

Kurzfassung

Dieser Abschlussbericht stellt die wesentlichen Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt “Optimierung regionaler Kreisläufe“ dar. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) im Zeitraum Dezember 2010 bis August 2013 gefördert und vom Projektträger Jülich (PtJ) sowie dem Deutschen Biomasseforschungszentrum (DBFZ) administrativ und wissenschaftlich begleitet.

Kernstück der Untersuchungen war die Integration einer dezentralen Holzvergaseranlage in regionale Stoffkreisläufe. Sowohl die Stoffströme als auch der Vergaser sollen dabei ökologisch und wirtschaftlich optimiert werden, um aktuellen Nachhaltigkeitsstandards zu genügen. Das Vorhaben wurde vom Biomassehof Achental in Grassau, einem international bekannten Vorbild in der regionalen Energiewende, und von der Firma agnion in Pfaffenhofen a.d. Ilm, der Entwicklerin des neuartigen Heatpipe-Reformers zur Holzvergasung, durchgeführt.

Während der Biomassehof mit der Hilfe neuer Technologien die selbstständige Versorgung der Region mit erneuerbaren Energien voranbringen möchte, war agnion auf der Suche nach einem ersten Praxisstandort für die bisher sehr erfolgreich funktionierende Pilotanlage. Eine Machbarkeitsstudie hat im Jahr 2010 beiden Firmen bescheinigt, dass ein Praxistest im Achental eine sehr gute Zusammenarbeit verspricht.

Im Laufe der knapp drei Jahre dieses Projekts wurden daher die folgenden Aufgabenstellungen bearbeitet: die Untersuchung verschiedener Brennstoffe sowie deren Eignung zur Produktion qualitativ hochwertiger Brennstoffe, die Bewertung verschiedener Aufbereitungswege vom Rohstoff zum Brennstoff, der Aufbau der Praxisanlage des Heatpipe-Reformers, die Vergasung von Brennstoffen unterschiedlicher Qualität, Langzeittests zur Vergasung in Labor und Praxis, die Replikation der Ergebnisse in anderen Regionen und schließlich die Dokumentation des gesamten Prozesses.

In allen Punkten konnten wichtige Fortschritte gegenüber der bisherigen Praxis erzielt werden. Im Bereich der Brennstoffaufbereitung konnten Wege etabliert werden, um auch Rohstoffe mit sehr geringer Ausgangsqualität zu nutzbaren und standardisierten Brennstoffen aufzubereiten, und die Analyse der Trocknung von Holzhackschnitzeln mit unterschiedlich komplexen Anlagen lieferte klare Hinweise für die Verwendung einfacher Techniken (Trocknung in Hallen oder technisch einfachen Containern). Bei der Holzvergasung konnten mit Hilfe des Heatpipe-Reformers neue Wege zur Verwertung von minderwertigen Materialien beschritten werden: neben einem stabilen Betrieb mit Hackschnitzeln wurden insbesondere Mischpellets aus energetisch bisher wenig nutzbaren Stoffen (Grünschnitt, Streuwiesengras, Kronenrestholz) als grundsätzlich für die Vergasung geeignet identifiziert. Die Kompaktierung von Hackschnitzeln mit gleichzeitiger Beförderung wurde als nicht tauglich für die Verwendung in einem Vergaser eingestuft. Die Übertragung der Ergebnisse aus dem Achental wäre in mehrere Regionen Deutschlands möglich, insbesondere zum Beispiel nach Ostsachsen.

Insgesamt sind der Aufbau einer optimierten Logistik und die Einbindung eines dezentralen Hackschnitzel-Vergasers im Achental gelungen. Zahlreiche Praxis-relevante Innovationen im Bereich der Brennstoff-Aufbereitung und der Holzvergasung wurden im Rahmen des Vorhabens untersucht und zur Anwendungsreife gebracht.

Aufgabenstellung und Voraussetzungen

Der Biomassehof Achental ist ein modellhaftes Regionalunternehmen in Zusammenarbeit aus Kommunen und privaten Unternehmen. Er hat es sich zum Ziel gesetzt, die biogenen holzartigen Reststoffe der Region, die eine meist noch ungenutzte Ressource darstellen, energetisch nutzbar zu machen. Das regionale Potenzial ist dabei erheblich: mit ca. 83.000 t Frischmasse (entspricht ca. 177.000 MWh) jährlich allein an holziger Biomasse. Jedoch liegt dieses Potenzial zu einem großen Teil in energetisch bisher nur schwer zu verwertenden Reststoffen wie Landschaftspflege- oder Waldrestholz. Zur Nutzung dieser Art von Brennstoffen ist eine Optimierung nötig, die sich von der Logistik über Lagerung, Trocknung und Konditionierung bis zur rigorosen Qualitätssicherung erstreckt. Als künftige Brennstoffe für verschiedene Systeme könnten diese in den Markt gebracht und damit das Potenzial der erneuerbaren Energien deutlich gesteigert werden.

Die unterschiedlichen Ausgangsstoffe sollen als Brennstoffe möglichst für verschiedenste Energieerzeugungsanlagen zugänglich gemacht werden. Im Rahmen dieses Projektes wurden daher diverse Aufbereitungswege und die Eignung zur Verwertung in bestimmten Anlagentypen getestet. Das Spektrum reicht dabei von kleinen Biomasse-Feuerungsanlagen im Haushaltsbereich bis hin zu Biomasse-Kesseln im Megawatt-Bereich für die Fernwärmeerzeugung. Im Bereich des Biomassehofs Achental sind auf engem Raum zahlreiche dieser Anlagen verfügbar.

Insbesondere war im Projekt auch die Errichtung einer thermochemischen Vergasungsstation (dem sog. agnion Heatpipe-Reformer = HPR) durch die agnion Operating GmbH & Co. KG zur Produktion von Wärme und Strom geplant, um als weitere Technologie-Plattform zur Verfügung zu stehen. Der Betrieb des Heatpipe-Reformers (1,3 MW Feuerungsleistung) sollte mit verschiedensten Brennstoffen untersucht werden. Während der aus dem Synthesegas über ein BHKW produzierte Strom für die Einspeisung ins öffentliche Netz geplant wurde, sollte die Abwärme an das Heizwerk Grassau bzw. den Biomassehof Achental übergeben werden, um für die Fernwärmeversorgung und die Aufbereitung von Brennstoffen zur Verfügung zu stehen. Die HPR-Anlage sollte von agnion errichtet und in Grassau zur Praxisreife gebracht werden.

Für das Gelingen des Projekts gab es zum Zeitpunkt der Antragstellung sehr gute Voraussetzungen. Neben der mehrjährigen Erfahrung in der Brennstoffaufbereitung am Biomassehof Achental wurde in einer ersten Stufe eine Machbarkeitsstudie[1] für die Errichtung einer dezentralen Holzvergasungs-anlage im Achental durchgeführt. Die Studie kam zu einem positiven Ergebnis und entwickelte ein durchdachtes und tragfähiges Konzept zur Installation der Holzvergasung mit Hilfe des HPR. Schließlich konnte die Firma agnion bereits mehrjährige Erfahrung mit einer Pilot-Vergasungsanlage in Pfaffenhofen aufweisen und brachte diese zu einem fast reibungslosen Betrieb. Die Praxisreife der Anlage war somit gegeben.

Ein Schema der Anlagen am Standort Grassau ist in Abbildung 1 zu sehen. Die „Optimierung regionaler Kreisläufe“ bedeutet dabei die wirtschaftlich und technisch optimierte Abstimmung der Stoffströme zwischen den einzelnen Anlagen.

---

[1] Gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit über das Programm „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ (Förderkennzeichen 03KB031)

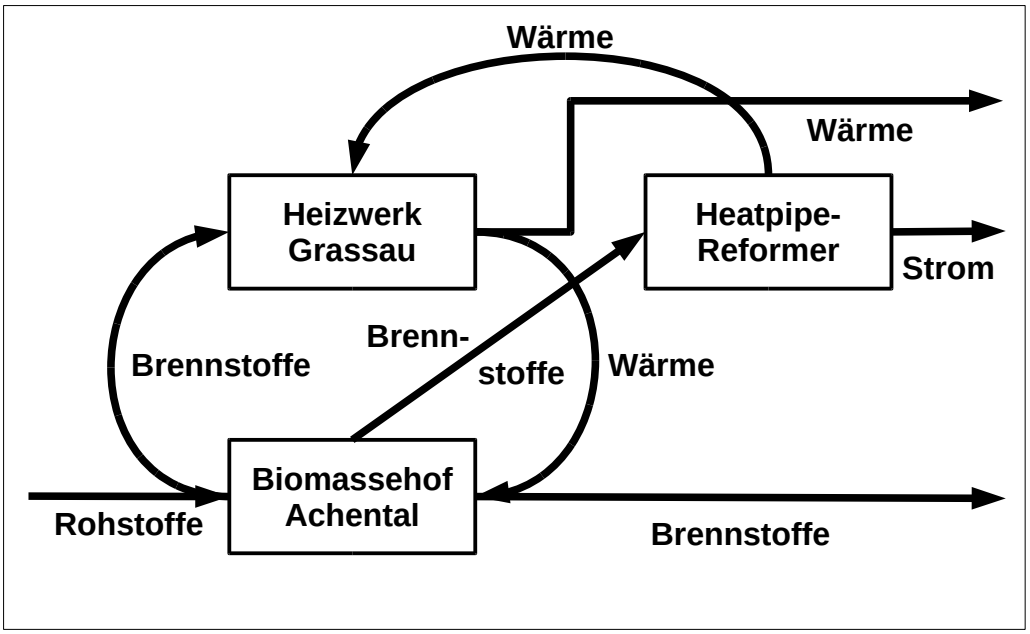

Abbildung 1: Schema der drei Anlagen am Standort des Biomassehofs Achental in Grassau. Die "Optimierung" bezieht sich auf die Stoffströme dazwischen

Die Ergebnisse aus dem Achental sind gut auf andere Regionen übertragbar. Dies wird insbesondere durch die breite internationale Modellwirkung des Achentals mit zahlreichen Fachbesuchern und durch das Vorhandensein der im Projekt verwendeten Rohstoffe in den meisten Regionen Deutschlands und Europas gewährleistet.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Untersuchungen zur Optimierung der regionalen Kreisläufe waren in sechs Arbeitspakete gegliedert, die in der folgenden Tabelle 1 mit Zeitplan dargestellt werden. Das Projekt umfasste insgesamt 33 Monate (01.12.2010 bis 31.08.2013).

Tabelle 1: Arbeitspakete im Vorhaben mit erwarteten Ergebnissen und Zeitplanung

AP	Aufgabe	Erwartete Ergebnisse	Zeitplan (Monate)
1	Erprobung der Verwendung von regionalen Bioreststoffen	Verwendbare Brennstoffe mit Potenzialen definiert und untersucht; Bringungsketten analysiert	1 – 15
2	Datenerfassung und –auswertung im Testbetrieb	Heatpipe-Reformer fertiggestellt; Testbetrieb der Anlagen mit versch. Brennstoffen erfolgreich	7 – 20
3	Optimierung von Brennstoff-aufbereitung und –einsatz im Dauerbetrieb	Dauerbetrieb der Anlagen, kontinuierliche Daten zu versch. Brennstoffen liegen vor	20 – 33

4	Dokumentation der Ergebnisse	Wirtschaftliches und technisches Handbuch zum Anlagenbetrieb	24 – 33
5	Vorbereitung wirtschaftlich betriebener Anlagen	Machbarkeitsstudien zur Errichtung von weiteren Heatpipe-Reformern (SNG-Produktion oder BHKW)	19 – 33
6	Projektmanagement und Verbreitung der Ergebnisse	Präsentationen auf Fachforen, Fachsymposium	1 – 33

Die ursprüngliche beantragte Projektdauer waren 30 Monate (bis 31.05.2013). Die Inbetriebnahme des Heatpipe-Reformers – eine wesentliche Voraussetzung für die APs 2 bis 4 – verzögerte sich jedoch wegen unvorhersehbarer Probleme um insgesamt drei Monate, so dass eine Verlängerung um drei Monate beantragt wurde.
Wegen eines Forderungsausfalls in Italien beantragte die Firma agnion im Februar 2013 Insolvenz. Die Zahlungsunfähigkeit dauerte bis Mai 2013, weshalb innerhalb dieses Zeitraums auf Seiten von agnion weniger Versuche als geplant durchgeführt werden konnten. Im Mai 2013 wurde agnion von einem neuen Investor, der ENTRADE-Gruppe, übernommen, so dass die Arbeit am Projekt wieder aufgenommen und im Sinne des Projekts abgeschlossen werden konnte.

Ansonsten wurde der Zeitplan für die Arbeitspakete eingehalten.

Vorheriger wissenschaftlicher und technischer Stand

In diesem Abschnitt wird sowohl für die Aufbereitung von Biomasse zu normierten Brennstoffen als auch für die Technik der Holzvergasung der Stand des Wissens zum Zeitpunkt der Antragstellung (Herbst 2010) dargelegt.

Aufbereitung von Biomasse

In der Biomasse-Aufbereitung gibt es vom Rohstoff aus Forst, Holzindustrie oder Landwirtschaft bis zum fertigen, normierten Brennstoff vielfältige Einzelschritte. Zuerst steht die Mobilisierung des Rohmaterials an, die meist aus einer Konzentrierung und Vorsortierung nach Qualität besteht und oft mit schwerem technischem Gerät (z.B. Harvester oder Rückewagen) geschieht. Anschließend erfolgt die Konditionierung mit Hilfe von Zerkleinerung, Siebung, Verpressung oder weiterer Qualitätssortierung. Dabei werden die einzelnen Schritte fakultativ je nach Rohstoff und gewünschter Brennstoffqualität eingesetzt. Ein entscheidender Schritt ist oft die Trocknung der Brennstoffe, um eine gute Lagerfähigkeit und definierte Brenneigenschaften zu erreichen [LWF 2012a]. Ein Übersichtsschema der Aufbereitung von Biomasse zu Brennstoffen am Biomassehof Achental ist in Abbildung 2 dargestellt. Je nach Verwendungszweck (Verkauf, Vergasung oder Verbrennung in einem Heizwerk) nehmen die Rohstoffe dabei unterschiedliche Wege und müssen auch unterschiedliche Qualitätsanforderungen erfüllen.

Trotz der technisch zunächst einfach anmutenden Einzelschritte ist sehr viel Erfahrungswissen und praktische Forschungsarbeit nötig, um ausgehend von diversen Rohstoffen eine gleichbleibende, normierbare Qualität an Brennstoffen zu erzeugen. Bei der Klassifizierung wurde früher auf die österreichische ÖNORM M7133 zurückgegriffen, da keine deutschen Normen vorhanden waren. Im Jahr 2005 wurde die europäische Vornorm CEN/TS 14961 veröffentlicht, die im Jahr 2010 von der

Norm DIN EN 14961-1 abgelöst wurde. In dieser Norm sind die Eigenschaften aller regenerativen festen Brennstoffe eindeutig festgelegt, insbesondere auch für Hackschnitzel. Sie unterscheidet Holzhackschnitzel nach dem Wassergehalt, der Korngrößenverteilung, dem Aschegehalt, der Schüttdichte und dem Anteil an Fremdstoffen.

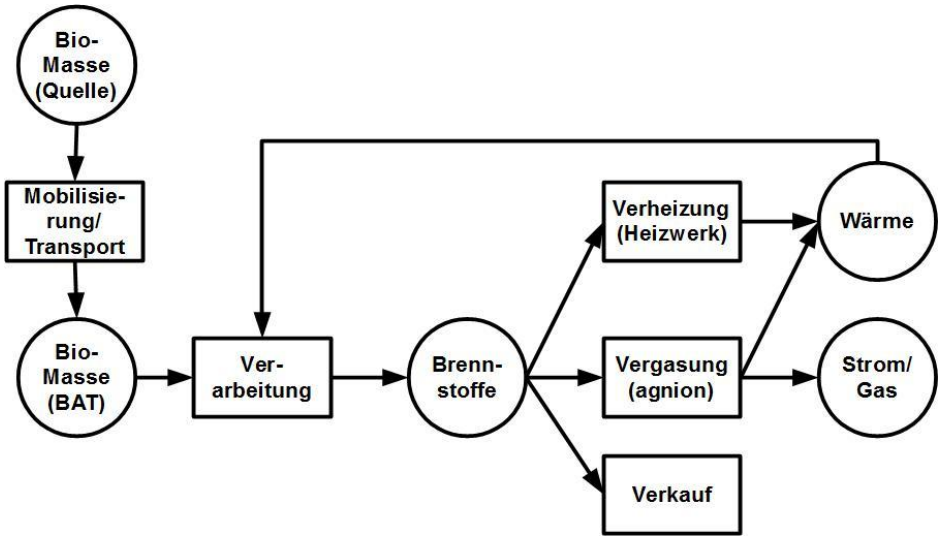

Abbildung 2: Allgemeine Aufbereitungskette von Biomasse-Rohstoffen zu Brennstoffen verschiedener Qualität am Beispiel Biomassehof Achental (BAT)

Bei der Erzeugung von Energie aus Biomasse müssen die Technik und der verwendete Brennstoff genau aufeinander abgestimmt werden, da sonst Betriebsstörungen auftreten können. Insbesondere bei kleinen Heizanlagen oder der technisch komplexen Holzvergasung ist es wichtig, die Qualität des Brennstoffs genau definieren zu können und dessen Einhaltung auch zu garantieren.

Wegen der unterschiedlichen Ausgangsqualitäten bedarf es daher einer Optimierung der Bringungsketten auf (in diesem Fall) drei verschiedene Qualitäten: sehr gut (für den Verkauf an Privatkunden), minderwertig (für den Kessel des Heizwerks) und mittel bis gut (für die Vergasung im Heatpipe-Reformer). Die angeforderte Qualität der Brennstoffe für den Vergaser war innerhalb des Projekts ebenfalls zu untersuchen.

Die Aufbereitung kann dabei an unterschiedlichen Stellen modifiziert werden:

- **Mobilisierung**: hier ist bereits auf eine Sortierung der Qualitäten des Ausgangsmaterials zu achten, um später die Brennstoffe leichter nach Normen trennbar zu halten. Entsprechend werden verschiedene Fahrzeuge benötigt.
- **Lagerung**: dabei kann zwischen der Ganzholzlagerung oder der Brennstofflagerung unterschieden werden; hier gibt es jeweils unterschiedliche Techniken (Poltern, Hallen, Mieten)
- **Zerkleinerung**: in diesem Schritt ist die Güte der verwendeten Maschinen entscheidend, da nur mit hochwertigen Hackern auch eine hohe Brennstoffqualität erreicht werden kann. Für minderwertiges Material kann oft auch ein kleiner Hacker, Schredder oder Hammermühle eingesetzt werden [LWF 2012b].
- **Siebung**: damit kann auch nach der Zerkleinerung noch zwischen diversen Qualitätsstufen getrennt werden.

- **Trocknung**: ein entscheidender Schritt zur Qualitätssicherung. Zur Vermeidung von Schimmelbildung und Biomasseverlust müssen Brennstoffe für die Lagerung trocken sein (maximal 30% Wassergehalt) [LWF 2012a]. Meist wird dafür eine technische Trocknung benötigt, da die Lufttrocknung keine garantierten Wassergehalte liefert und mehrere Monate dauern kann [LWF 2012a]. Wegen der Komplexität des Trocknungsvorgangs gibt es zahlreiche unterschiedliche Verfahren: unter anderem Container-, Hallen, Mieten-, Dom- und Trommeltrocknung. Diese Varianten kommen abhängig von der Logistik und den Anforderungen an Qualität und Wirtschaftlichkeit zum Einsatz.
- **Kompaktierung/Brikettierung**: ein hohes Maß an Homogenität und Handhabbarkeit von Brennstoffen kann durch eine Kompaktierung, Brikettierung oder Pelletierung erreicht werden. Dabei wird der Rohstoff zerkleinert und zu einem festen Pressling verfügt. Meist geschieht dies unter Druck, so dass die Ausgangsmaterialien anschließend fest zusammenhaften (durch Faservernetzung, Feststoffbrücken, Wasserstoffbrücken, Klebewirkung von Inhaltsstoffen wie z.B. Lignin). Ein wohlbekanntes Beispiel hierfür sind Holzpellets, die auch in privaten Feuerungsanlagen sehr bequem und zuverlässig verwendet werden können[2] [Kaltschmitt 2009].
- **Alternative Rohstoffe**: neben der Verwendung „klassischer“ Ausgangsstoffe für Holzbrennstoffe wie Sägerestholz oder Waldrestholz können mittlerweile auch andere Rohstoffe zu normierten Brennstoffen verarbeitet werden. Hierzu zählt insbesondere das Landschaftspflegematerial, das bei der Räumung von Straßen oder Schienen, der Kulturlandschaftspflege oder kommunalen Flächen wie Spielplätzen anfällt. Auch Kurzumtriebsplantagen (Anlagen von schnellwachsenden Baumarten wie z.B. Pappeln oder Weiden) sind eine neuartige Quelle von holziger Biomasse.
- **Verwertung**: hier können unterschiedliche Betriebsparameter wie Vergasungstemperatur und Druck, Wasserdampf- bzw. Sauerstoffzufuhr, oder auch die Prozess-Verweilzeit eingestellt werden.

Insgesamt ist also eine gewissenhafte Planung der Bringungskette von Anfang an erforderlich [LWF 2003]. Die mehrjährige Praxiserfahrung mit der Aufbereitung von Brennstoffen am Biomassehof Achental und mehrere Vorversuche zu Lagerung, Kompaktierung und Trocknung haben das große wirtschaftliche und ökologische Potenzial gezeigt, dass in der Optimierung einzelner Aufbereitungsschritte steckt.

Bei der Untersuchung der Aufbereitung werden keine Patente oder Schutzrechte tangiert, da die Techniken entweder nicht patentiert sind oder als externer Arbeitsschritt zugekauft werden.

Holzvergasung

In diesem Kapitel werden die aktuell zur Anwendung kommenden Systeme zur Herstellung eines Gases mit hohem Energieinhalt durch die allotherme Wasserdampfvergasung gezeigt.

Es gibt mehrere Varianten, die für die allotherme Wasserdampfvergasung notwendige Wärme zur Verfügung zu stellen. Alle hier erwähnten Verfahren beziehen die nötige Wärme aus einer separaten Verbrennung des Brennstoffs sowie des in der Wasserdampfvergasung entstandenen Restkokses

[2] http://de.wikipedia.org/wiki/Holzpellet (Zugriff am 05.09.2013)

(siehe Abbildung 3). Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Art der Zurverfügungstellung der Wärme für die allotherme Wasserdampfvergasung.

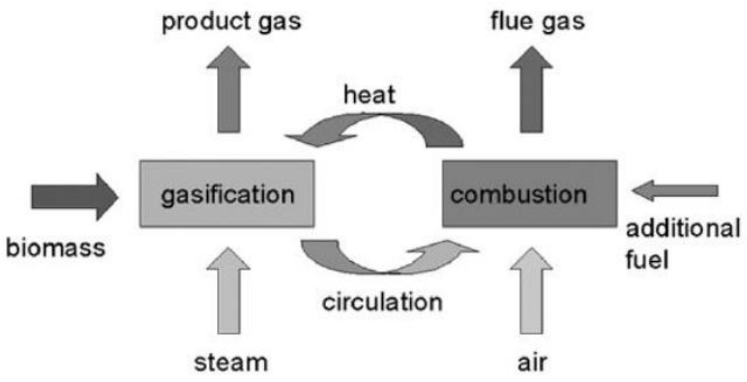

Abbildung 3: Prinzip der separaten Wärmeerzeugung (nach [Rauch 2002])

Folgend werden drei der aktuell auch in der Praxis angewendeten Verfahren vorgestellt

Fast Internally Circulating Fluidised Bed – Vergasung

Fast Internally Circulating Fluidised Bed - Vergasung, kurz FICFB-Vergasung, ist ein Konzept, das an der Technischen Universität Wien unter Hermann Hofbauer entwickelt wurde. Die weltweit erste funktionierende Anlage nach diesem Verfahren wurde 2002 in Güssing in Betrieb genommen[3].

In diesem Konzept bedient man sich zweier kommunizierender Wirbelschichten. Aus dem zur Vergasung dienenden stationären Wirbelschichtreaktor werden der ausgegaste Brennstoff (Koks) und das Bettmaterial (Olivin) über einen Siphon in eine zweite zirkulierende Wirbelschicht geleitet. Dort wird der Brennstoffrest verbrannt und dadurch das Bettmaterial erwärmt. Das erwärmte Bettmaterial wird ausgetragen und über einen Abscheidezyklon, der das Vergasungsmittel Luft und das Rauchgas vom Bettmaterial trennt, dem Wasserdampfvergasungsreaktor zugeführt. Dieser arbeitet bei 850°C mit überhitztem Wasserdampf als Vergasungsmittel (siehe Abbildung 4).

[3] Güssing Renewable Energy. [Online] [Zitat vom: 27.02.2013] http://www.gussingrenewable.com/htcms/de/wer-was-wie-wo-wann/wie/thermische-vergasungficfb-reaktor.html

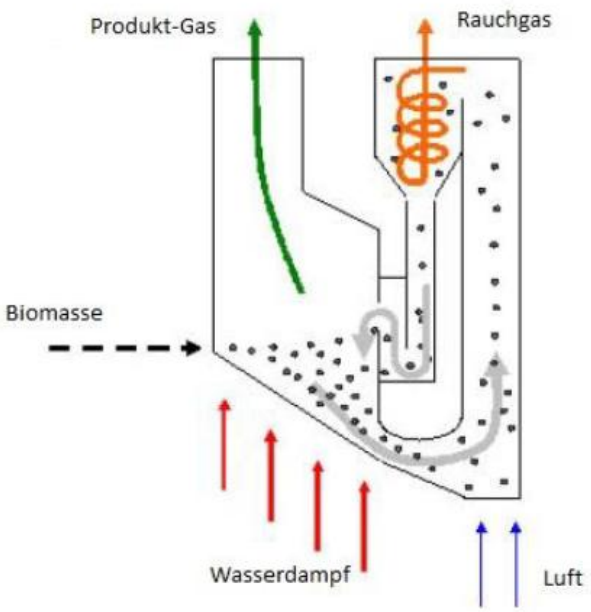

Abbildung 4: Prinzip eines FICFB-Vergasers (nach [Rauch 2002])

Heatpipe-Reformer

Beim Heatpipe-Reformer, wie ihn die Firma agnion Energy GmbH vertreibt, wird ebenfalls in einer stationären Wirbelschicht verbrannt und in einer zweiten reformiert. Die beiden stationären Wirbelschichten werden unabhängig voneinander beschickt und sind übereinander positioniert (siehe Abbildung 5).

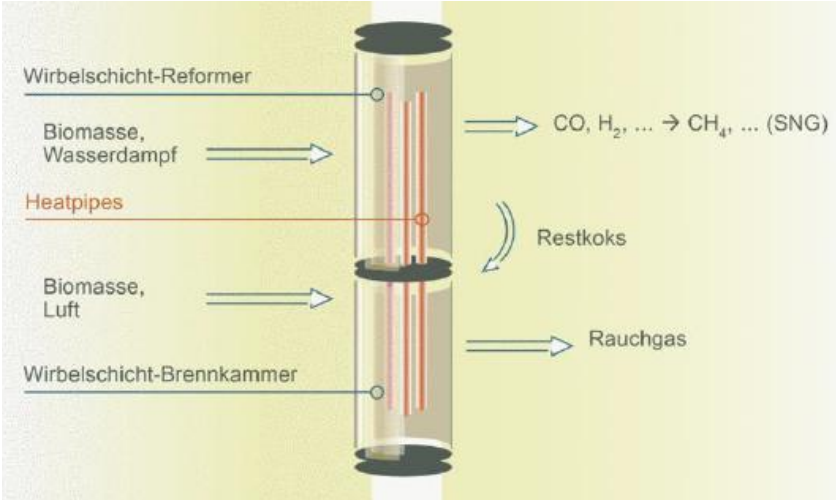

Abbildung 5: Aufbau eines agnion-Heatpipe-Reformers: Zwei getrennte Reaktionskammern sind durch Heatpipes verbunden (somit allotherm) und erzeugen Synthesegas aus Biomasse und Wasserdampf (Quelle: agnion)

Die Besonderheit bei diesem Verfahren ist die Art des Wärmeeintrages in den allothermen Wasserdampfvergasungsreaktor. Hierfür werden Heatpipes (Wärmeüberträgerrohre) verwendet. Heatpipes sind geschlossene Rohre, die mit einem Arbeitsfluid gefüllt sind. In diesem Fall muss das Arbeitsfluid einen hohen Siedepunkt haben, wie Natrium oder Kalium, um Wärme auf dem erforderlichen Temperaturniveau (ca. 800-900°C) transportieren zu können. Diese Rohre sind

aufrecht innerhalb der beiden Wirbelschichten verbaut und verbinden die beiden Kammern (siehe Abbildung 5). Das Arbeitsfluid verdampft im unteren Teil durch die Verbrennungswärme und steigt auf, um oben die Wärme durch Kondensation wieder abzugeben (siehe Abbildung 6). Für diesen Vorgang ist keine Pumpe oder dergleichen notwendig.

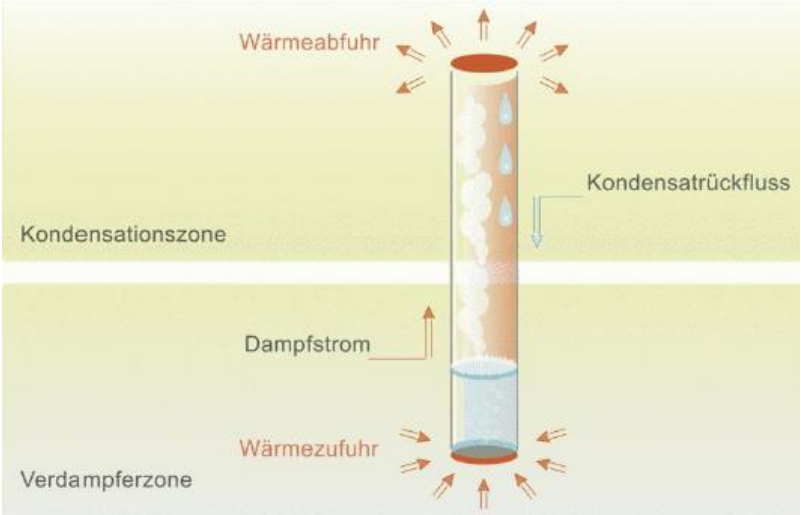

Abbildung 6: Funktionsweise der Heatpipes: Wärme wird durch ein zirkulierendes Arbeitsmedium übertragen, das dabei seinen Phasenzustand verändert

Blauer Turm

Der Blaue Turm ist die Realisierung des Patents von Heinz-Jürgen Mühlen als Pilotanlage in der deutschen Ortschaft Herten. Dabei handelt es sich um eine allotherme, gestufte Wasserdampfvergasung mit dem primären Ziel der Erzeugung eines Gases mit hohem Heizwert. Das Besondere bei diesem Konzept ist, dass der Wärmeeintrag über den Austausch von Inertmaterial erfolgt und dass im Verfahren drei Schritte der thermochemischen Vergasung in drei separaten Reaktoren durchgeführt werden. Die einzelnen Schritte des Vergasungsvorgangs, in Abbildung 7 als die Zersetzung der Rohstoffe (Pyrolyse), die Veredelung zum ‚Blauen Gas' (Wasserdampfvergasung) und die Erhitzung der Keramik-Kügelchen bezeichnet, finden räumlich getrennt voneinander und zu für den jeweiligen Prozessschritt optimalen Bedingungen statt.

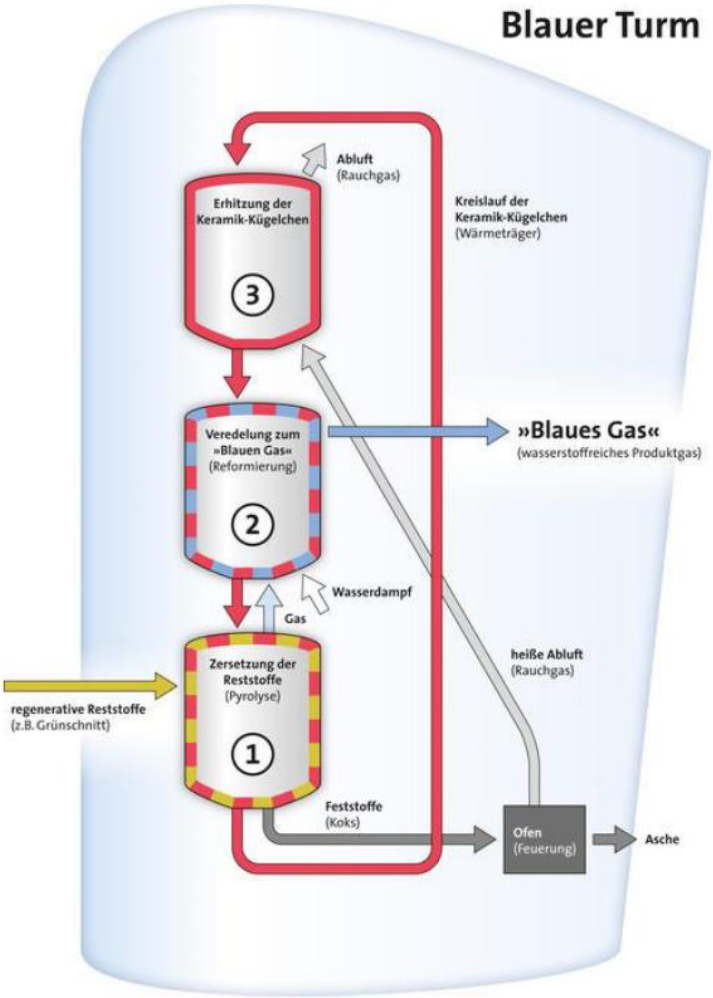

Abbildung 7: Funktionsweise des „Blauen Turms“[4]: Die drei Schritte zur Erzeugung von Synthesegas finden in getrennten Kammern statt

Laut Patentschrift von Heinz-Jürgen Mühlen [Mühlen 2003] wird die Pyrolyse in einem Wanderbettreaktor oder einer Drehtrommel durch den Kontakt mit einem Wärmeträgermedium durchgeführt. Durch diesen engen Kontakt des Brennstoffs zum Wärmeträgermedium ist eine schnelle Pyrolyse gewährleistet. Das Wärmeträgermedium wird mit den festen Pyrolyserückständen ausgetragen. Je nach Wärmeträgermedium wird es entweder vor der Verbrennung von den festen Pyrolyserückständen getrennt und dann separat erhitzt (siehe Abbildung 7) oder gemeinsam mit den festen Pyrolyserückständen in eine Wirbelschichtfeuerung eingebracht. Dort werden die kohlenstoffhaltigen Rückstände verbrannt und damit gleichzeitig das Wärmeträgermedium aufgeheizt. Was übrig bleibt (die Asche, das Wärmeträgermedium und das Abgas der Verbrennung) wird aus der Wirbelschichtfeuerung ausgetragen und über einen Gas-Feststoff-Abscheider getrennt. Die Feststoffe (das Wärmeträgermedium und die Asche) werden wieder in die Reaktionszone des Pyrolysereaktors eingebracht. Das heiße Abgas der Verbrennung wird in einen indirekten Wärmetauscher geleitet, sodass sein Wärmeinhalt für die Vergasungsreaktionen genutzt werden kann. Dem Pyrolysegas wird gegebenenfalls ein Reaktionsmittel (Wasserdampf) zugemischt und mit der Wärme aus dem Abgas werden die Vergasungsreaktionen betrieben.

[4] SOLAR MILLENNIUM AG. [Online] [Zitat vom: 27.02.2013] http://www.solarmillennium.de/deutsch/archiv/technologie/innovation/blue-tower/funktionsweise.html

Der Prozess soll als schnelle Pyrolyse ablaufen, um möglichst wenig kondensierbare Stoffe im Pyrolysegas zu haben. Dies wird gewährleistet, indem die Pyrolyse bei 550°C bis 650°C durchgeführt wird. Bei der Vergasung können die Pyrolysegase durch die Erhitzung auf 900°C bis 1000°C und die Reaktion mit dem Wasserdampf in die gewünschte Synthesegasqualität umgewandelt werden. Mittels Katalysatoren lässt sich hier noch eine Verbesserung erzielen. Bevorzugt verwendet werden dafür Dolomit, Calcit, Nickel, Nickeloxid, Nickelspinell oder Nickelaluminat. Die hohen Vergasungstemperaturen sind für die genannten Katalysatoren insofern von Bedeutung, da sich deren Schwefelempfindlichkeit bei diesen Temperaturen stark vermindert. Dolomit hat in dieser Anwendung noch zusätzlich die Eigenschaft, dass es bei den Temperaturen im Vergasungsreaktor kalziniert und sich daraus Calcium- oder Magnesiumoxid bildet, was eine hohe katalytische Aktivität aufweist.

Das Wärmeträgermedium muss den vorhandenen Temperaturen standhalten können und auch mechanisch, chemisch und thermisch stabil sein. Dafür sind feuerfeste Stoffe wie Sand, Kies, Korund, Splitt, Quarzit, Alluminosilikate (Feldspat), Cordierit oder Grauwakke einsetzbar. Aber auch Formkörper aus metallischen und/oder nichtmetallischen Stoffen wie z.B. Stahl- oder Keramikkugeln sind möglich. Verwendet man die Katalysatoren auch als Wärmeträger, hat es den Vorteil, dass diese zyklisch in der Wirbelschichtfeuerung regeneriert werden.

Durch die Aufspaltung in die einzelnen Verfahrensschritte ergeben sich z.B. folgende Vorteile:

- Es können alle Prozessschritte zu den für sie optimalen Bedingungen ablaufen, vor allem die brennstoffspezifische Pyrolyse.
- Durch die Realisierung des Pyrolysereaktors als Wanderbettreaktor hat man keine Probleme mit der Stückigkeit des Einsatzstoffes, wie man es bei einem Wirbelschichtreaktor hätte.
- Wenn genügend Wasserdampf in den Einsatzstoffen gebunden ist, kann man auf eine Zugabe von Wasserdampf als Vergasungsmittel sogar verzichten.
- Mit Wasserdampf kann das heiße Pyrolysegas entstaubt werden, um die Katalysatoren zu schützen.
- Das Synthesegas kann auch zur Aufheizung des Wärmeträgers verbrannt werden, wenn zu wenig kohlenstoffhaltiger Reststoff der Pyrolyse (Restkoks) übrig ist oder dieser anderweitig genützt werden soll (z.B. als Aktivkohle, Grillkohle, etc.).

Bei der Umsetzung im Blauen Turm handelt es sich um eine Multifeedstock-Technologie. Dadurch können fast sämtliche regenerative Reststoffe und damit sehr unterschiedliche Stoffe eingesetzt werden wie z.B. Grünschnitt, Straßenbegleitgrün, Olivenkerne oder Hühnermist. Außer dem mineralischen Anteil der Brennstoffe (Asche) bleibt kein fester Reststoff über. Organische Schadstoffe werden im Blauen Turm vollständig abgebaut. Es entsteht auch kein Abwasser.[5]

Schlussbemerkung

Die hier dargestellten Verfahren haben alle das gleiche Ziel: möglichst reines Synthesegas aus biogenen Brennstoffen zu erzeugen. Jedoch sind die Ansätze verschieden, so dass bei allen jeweils eigene technologische Herausforderungen auftreten. Deshalb sind Erkenntnisse aus Güssing oder dem Blauen Turm nur bedingt auf die Heatpipe-Technologie übertragbar – weshalb hier eigene Forschungen nötig sind.

[5] http://www.wasserstoffstadt-herten.de/ [Online] [Zitat vom: 14.03.2013]

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die beiden Partner nahmen im Laufe des Projekts Kontakt zu mehreren **anderen Forschungsprojekten** auf. Eine Zusammenarbeit und der Austausch von Ergebnissen wurden, soweit möglich, beschlossen. Einige ausgewählte Projekte sind folgend aufgeführt:

- Im Rahmen des Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“:
  - Schließung regionaler Stoffkreisläufe/RegioSWS (FKZ 03KB014): Ergebnisaustausch
  - Optimierung der Holzkaskadennutzung (FKZ 03KB016): Unterstützung bei der Analyse von Bringungsketten
- Aufbereitung von Biomasse
  - Enge Zusammenarbeit mit dem Ökomodell Achental e.V. zur Quantifizierung des Biomasse-Potenzials
  - Eine Kooperation mit der Hochschule München zur Analyse des Biomassepotenzials aus der Luft mit Hilfe von Lasermessung wurde angestrebt
  - Teilnahme am Arbeitskreis Holzhackschnitzel des Bundesverbandes Bioenergie
- Holzvergasung
  - Teilnahme am Arbeitskreis Holzvergasung des Umweltclusters Bayern
  - CO2freeSNG (EU-7.Rahmenprogramm)
  - DistributedSNG (Österreichische Forschungsförderung FFG)
  - InnoGasClean (Österreichische Forschungsförderung FFG)
  - Mitglied im ZIM-NEMO-Netzwerk „HolzStrom“[6]

Insbesondere der Austausch mit anderen Programmteilnehmern auf den jährlichen Statuskonferenzen zur „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ war hilfreich und wurde von beiden Partnern sehr geschätzt.

Der Biomassehof Achental war innerhalb der Projektlaufzeit zugleich auch Träger der **Bioenergie-Region Achental**[7], die vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert wird. Im Rahmen der bundesweit 25 (bzw. 21 ab 08/2012) Bioenergie-Regionen wurden die Ergebnisse dieses Optimierungsprojekts verbreitet und mit den weiteren Teilnehmern intensiv diskutiert, die ein reges Interesse an den Fortschritten der Vergasungs- und Aufbereitungstechnologie zeigten. Insbesondere bei dem bundesweiten Workshop der Bioenergie-Regionen, der im Juni 2013 im Achental stattfand, konnten die Ergebnisse am Biomassehof Achental anschaulich präsentiert werden. Auch im EU-Projekt „BioRegions“[8] traf das ORK-Vorhaben auf reges Interesse.

Beide Partner nahmen auch an zahlreichen **Konferenzen** (mit und ohne Präsentation) teil, die für die weitere Arbeit oft sehr hilfreich waren. Eine Auswahl davon ist hier wiedergegeben:

- Teilnahme am Workshop „Gasmesstechnik in der Holzvergasung“ in Rosenheim (05.07.2011)
- Teilnahme an der Europäischen Biomassekonferenz (06-10.06.2011 in Berlin)
- Vortrag auf dem 19. CARMEN-Symposium in Straubing (12.07.2011)

[6] http://www.holzstrom.net/ (Zugriff am 11.11.2013)
[7] http://www.bioenergie-region-achental.de/ (Zugriff am 18.11.2013)
[8] http://www.bioregions.eu/ (Zugriff am 18.11.2013)

- Vortrag auf der dritten Statuskonferenz in Potsdam (08-09.11.2011)
- Präsentationsstand auf der Grünen Woche / natureTec in Berlin, zusammen mit dem BMU (20-29.01.2012)
- Präsentation des Achentals und des Optimierungs-Projekts im Bayerischen Landtag in München; zusammen mit den drei anderen bayerischen Bioenergie-Regionen (26.04.2012)
- Vortrag über das Projekt auf der Fachtagung „Elektroenergie aus Biomasse“, Hochschule Zittau/Görlitz (03.05.2012)
- Feierliche Einweihung des agnion Heatpipe-Reformers in Grassau (04.05.2012)
- Bioenergietag am Biomassehof Achental in Grassau (05.05.2012)
- Teilnahme am Statusseminar Holzvergasung von CARMEN e.V. in Aschaffenburg (07.05.2012)
- Poster auf der World Bioenergy Conference in Jönköping / Schweden; dankenswertersweise vom DBFZ übernommen (29-30.05.2012)
- Teilnahme an der European Biomass Conference and Exhibition in Mailand (18-20.06.2012)
- Vortrag auf der Dresdner langen Nacht der Wissenschaft (06.07.2012)
- Präsentationsstand auf der RENEXPO Augsburg (27.09.2012)
- Fachforum „Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse“ in Grassau (eigene Veranstaltung, 11.10.2012)
- Vortrag und Podiumsdiskussion auf der vierten Statuskonferenz des Förderprogramms in Berlin (05-06.11.2012)
- Vortrag auf der RENEXPO Salzburg (29.11.2012)
- Teilnahme an der BBE-Kommunaltagung in Leipzig (29.01.2013)
- Teilnahme an der Agroforst-Tagung der FNR in Berlin (19-20.02.2013)
- Workshop der deutschen Bioenergie-Regionen in Grassau (10-12.06.2013)
- Vortrag auf der fünften Statuskonferenz des Förderprogramms in Leipzig (14-15.11.2013)
- Besuche mehrerer Mitglieder von Deutschem Bundestag und Bayerischem Landtag am Biomassehof Achental, jeweils mit Vorführung der Technologien und des Optimierungsprojekts

Detaillierte Ergebnisse

Ergebnisse und Ziele nach Arbeitspaketen

In diesem Abschnitt werden die im Antrag festgelegten Ziele und die Ergebnisse nach Arbeitspaketen gegliedert ausführlich dargestellt.

Arbeitspaket 1: Erprobung der Verwendung von regionalen Bioreststoffen

In diesem AP sollen verschiedene Brennstoffe auf ihre Eignung für die diversen Anlagen untersucht werden. Dazu werden zunächst relevante Rohstoffe definiert, deren chemische und mechanische Eigenschaften untersucht und die einzelnen Stationen der Brennstoff-Aufbereitung damit durchlaufen. Das Ziel des APs war eine Liste von wohldefinierten Brennstoffen, die in ausreichender Menge vorhanden sind, zu wirtschaftlich und ökologisch angemessenen Konditionen produziert werden können und prinzipiell für die Vergasung oder Verbrennung geeignet sind.

AP 1.1: Untersuchung verschiedener Brennstoffe und Entwicklung eines neuartigen Konzepts zur Brennstoffaufbereitung

Zur Eignungsprüfung für die spätere thermische Verwertung wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Brennstoffe (Hackschnitzel) ausgewählt. Dabei wurden ausschließlich Hackschnitzelklassen verwendet, die aktuell und in Zukunft auf dem Biomassehof Achental auftreten, da nur diese eine ausreichende Versorgungssicherheit garantieren. Die Feuchtigkeit und Stückigkeit entsprechen der hauptsächlich vorhandenen Qualität pro Brennstoff.

Tabelle 2: Brennstoffe, die auf ihre Tauglichkeit für die Verwertung in verschiedenen Energieerzeugungsanlagen untersucht wurden (LPM = Landschaftspflegematerial, KUP = Kurzumtriebsplantagenholz)

Brennstoff	Wald-restholz	Sägerestholz (frisch)	Sägerestholz (trocken)	Industrie-restholz (trocken)	Industrie-restholz (frisch)	LPM	KUP (Pappel)
Feuchtigkeit	W50	W50	W20	W20	W50	W50	W50
Stückigkeit	G50	G30	G30	G30	G30	G50	G50

Das Labor ASG in Neusäß bei Augsburg untersuchte repräsentative Proben dieser Brennstoffe chemisch und mechanisch. Der Untersuchungsbericht liegt im Anhang bei.

Eine optische Kontrolle der Partikelgrößenverteilung erfolgte ebenfalls. Dazu wurde von jeder Hackschnitzelsorte eine definierte Menge auf ein weißes Blatt Papier gegeben. Anschließend wurde es fotografiert und manuell die auftretenden Korngrößen bestimmt. Die mechanische Siebung und die optische Sichtung lieferten vergleichbare Ergebnisse.

Die Stückigkeit bzw. Korngrößenverteilung hat auf die Brennstoffförderung sowie Vergasungseigenschaften entscheidenden Einfluss. Denn ein zu hoher Anteil an Überkorn kann zu Verstopfungen in der Biomassezubringung (Förderung + Druckschleusung) in den Vergaser führen. Zusätzlich verringert ein höherer Anteil großer Partikel die freie Reaktionsoberfläche, wodurch es im Reformer zu geringerem Kohlenstoffumsatz und somit zu Effizienzeinbußen kommen könnte.

Sowohl bei KUP als auch WRH war der Anteil von grobem Material erhöht. Dies könnte zu Verstopfungen in der Förderung des Brennstoffs führen. Dies bedeutet, dass die beiden Brennstoffe

entweder von der Vergasung ausgeschlossen, mit einem besseren Hacker verarbeitet oder nach dem Hacken gesiebt werden müssen. Die beiden letzten Varianten sind dabei in ihrer Wirtschaftlichkeit fragwürdig. Der Feinanteil hingegen ist für die Vergasertechnologie nach Erkenntnissen von agnion nicht störend.

Bei den chemischen Parametern der Brennstoffe weisen KUP-Holz, Waldrestholz und Holz aus der Landschaftspflege stark erhöhte Kaliumwerte auf (2.800, 3.300 und 2.300 mg/kg TS), die eine Vergasung aufgrund der möglichen Anbackungen und Agglomeration (Coating) erschweren könnte. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen wäre aber der Betrieb des Reformers mit Stoffen möglichst minderwertiger Qualität gewünscht. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der chemischen Eigenschaften der drei genannten Hölzer ist die Mischung mit Material höherer Qualität, meist Holzhackschnitzel aus Rundholz (zum Vergleich: Kaliumgehalt ca. 640 mg/kg TS). Darin sind wegen des geringen Rindenanteils auch niedrigere Konzentrationen der problematischen chemischen Elemente enthalten. Für die Verbrennung im Heizwerk Grassau sind die erhöhten Kaliumwerte kein Problem, da dieses grundsätzlich für Brennstoffe minderer Qualität ausgelegt ist. Zudem ist es im Bedarfsfall leichter zur Reinigung zugänglich.

Die Tests auf dem Prüfstand zur Fördertechnik bei agnion in Pfaffenhofen haben ergeben, dass konventionelle Hackschnitzel grundsätzlich in das System des Heatpipe-Reformers eingebracht werden können. Die Ergebnisse aus dem Praxistest in Grassau finden sich in Abschnitt AP 2.2 und 3.2.

Als Fazit aus AP 1.1 lässt sich also festhalten, dass von den sieben definierten und getesteten Brennstoffen zunächst vier Brennstoffe für die Vergasung geeignet sind (Sägerestholz und Industrierestholz, jeweils frisch (bis W30) oder trocken). Der Betrieb des Heatpipe-Reformers sollte daher mit diesen Stoffen beginnen und anschließend zu Mischungen mit den anderen drei (LPM, Waldrestholz und KUP) übergehen. Auf die maximale Korngröße (nach Definition von G30-Material) ist dabei beim Hacken zu achten. Nach einer stringenten Kontrolle des Hackprozesses werden die Premium-Hackschnitzel am BAT nun beinahe vollständig ohne Überlängen und Störstoffe zur Verfügung gestellt.

AP 1.2: Forschungs- und Entwicklungsarbeit und Testreihen zur Aufbereitung des Materials

Kernstück dieses APs waren Versuche zur ökologisch und wirtschaftlich optimierten Aufbereitung von Biomasse zu normierten Brennstoffen. Die Versuche umfassten dabei alle Schritte der Mobilisierung und Konditionierung, namentlich die Vorsortierung, Zerkleinerung, Siebung, Trocknung und Lagerung. Die Versuche dazu fanden am Biomassehof Achental in Grassau und bei Unterauftragnehmern statt. Das Ziel war die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und der klimatischen Wirkung der Bringungsketten.

Die Ergebnisse aller Versuche sind im „Gesamtkonzept zur optimierten Biomassemobilisierung in regionalen Wertschöpfungsketten“ aus AP 1.4 und dem „Handbuch zur Aufbereitung biogener Brennstoffe“ zusammengefasst (siehe Anlagen). Die beiden umfangreichen Trocknungsversuche in Grassau und Berthelsdorf werden unter AP 3.1 näher beschrieben.

AP 1.3: Entwicklung und Test einer Kompaktiereinheit als alternative, geeignete Aufbereitungsmethode zur Sicherstellung der Brennstoffstückigkeit

Details zu diesem AP siehe auch im Anhang (Teilbericht AP 1.3 Teil 1 und Teilbericht AP 1.3 Teil 2)

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes soll eine Anlage zum Kompaktieren von Biomasse geplant, gebaut und getestet werden. Der Kompaktierprototyp soll in der Lage sein, einen 500 kW Reformer (als erste Stufe) mit Biomasse zu versorgen. Durch den Pressvorgang soll ein Brikett entstehen. Dadurch wird ein gasdichter Abschluss erzeugt und somit kann die aufwändige Druckschleuse entfallen.

Es wurden Vorversuche zur Kompaktierung durchgeführt, um die Einflüsse von Wassergehalt und Matrizengeometrie auf den Kompaktiervorgang zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass mit feuchter Biomasse – ab einem Wassergehalt von 20% – keine festen Briketts erzeugt werden können. Trockene Biomasse ließ sich ohne Probleme zu kompakten Briketts pressen. Das Weiterfördern der Biomasse ist möglich wenn Richtungsänderungen mit Radien ab 500 mm eingehalten werden. Die Vorversuche zeigten, dass durch den Brikettstoppel keine absolute Dichtheit gegeben ist und für den Einsatz am Heatpipe-Reformer weitere Maßnahmen zu setzen sind, um einen Gasaustritt verhindern zu können.

Des Weiteren wurde gezeigt, dass ein Pressvorgang aus drei Abschnitten besteht. Am Beginn wird die Matrize mit Hackgut gefüllt, danach wird vorverdichtet und zum Abschluss folgt die Hochverdichtung. Die Kraft steigt sehr langsam und kontinuierlich an und nimmt ein Maximum im Abschnitt der Hochverdichtung an. Das Füllen und Vorkomprimieren nimmt die meiste Zeit in Anspruch. Eine Kraft-Dichte-Messung hat ergeben, dass die Presskraft erst nach 5-10 Pressvorgängen steigt und auch eine Brikettbildung erst dann einsetzt. Grund hierfür ist der sich aufbauende Gegendruck, durch die Reibung zwischen dem Hackgut und der Matrizeninnenwand.

Mit den erhaltenen Daten der Vorversuche, wurde der Prototyp geplant und aufgebaut. Der Hydraulikstempel ist in der Lage, eine Presskraft von rund 160.000 N aufzubringen. Die Aus- und Einfahrgeschwindigkeit des Zylinders wurde mit 0,1 m/s festgelegt, um die für den Vergaserbetrieb erforderliche Biomasseförderleistung erreichen zu können. Ein Wegmesssystem wurde in den Zylinder integriert, um damit die Positionierung des Zylinders vornehmen zu können.

Die verwendete speicherprogrammierbare Steuerung der Firma Eurotherm® konnte der schnellen Ausfahrgeschwindigkeit des Zylinders nicht folgen. Für eine genaue Steuerung der Kompaktieranlage ist sie daher ungeeignet und musste ersetzt werden. Um dennoch Versuche durchführen zu können, wurde ein mechanischer Grenzwertschalter installiert, um dadurch eine genaue Positionierung möglich zu machen. Um Dauerversuche durchführen zu können, wurde ein Ölkühler der Firma Schema Hydraulik installiert.

Die Pressversuche mit Biomasse zeigten, dass auf Matrize und Schneidvorrichtung hohe Kräfte wirken. Des Weiteren wurde ein mechanischer Verschleiß an Matrize und Schneidvorrichtung festgestellt. Versuche mit Schneidringen zeigten, dass eine Schneidwirkung gegeben ist, jedoch die Schneidvorrichtung nicht immer genau trifft und dadurch eine starke Abnützung der Schneidvorrichtung zur Folge hat. Aufgrund der axialen Abweichung und durch das Verdrücken der Schneidvorrichtung bei den Pressvorgängen wurde auf die Schneidringe verzichtet und der etwas höhere Energieaufwand in Kauf genommen, um die Funktionsdauer von Matrize und Schneidvorrichtung erhöhen zu können.

Die weiteren Versuche wurden ohne Schneidring und mit einer Matrize, die ähnlich die der Vorversuche ist, durchgeführt. Bei diesen wurde die Förderleistung gemessen, es konnte ein Biomassenstrom von rund 10 kg/h erreicht werden. Für die Beschickung des 500 kW Reformers müsste ein Strom von 120 kg/h erreicht werden. Eine andere Möglichkeit wäre, dass die Biomasse vorkomprimiert wird, um dadurch eine größere Briketthöhe pro Pressvorgang erreichen zu können.

Biomasse kann kompaktiert werden. Jedoch kann der Brikettstoppel eine absolute Gasdichtheit nicht gewährleisten, daher müssen zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, um den Gasaustritt verhindern zu können. Die Veränderungen müssen durchgeführt, der Prototyp optimiert und in realitätsnahen Bedingungen getestet werden. Weitere Optimierungen zur Erhöhung der Durchsatzleitstung und Minimierung der Pressleistung müssen erfolgen, um die Anforderungen zu errreichen.

Vorläufiges Fazit: Die hier entwickelte Technologie ist für einen Einsatz am Heatpipe-Reformer nicht geeignet.

Nach dieser Entwicklungsarbeit im Labor und den daraus folgenden Ergebnissen sollten Voruntersuchungen einer Kompaktiereinheit im kommerziellen Maßstab erfolgen. Aufgrund der dargestellten Ergebnisse zur Entwicklung einer Kompaktiereinheit wurde versucht, die dort beschriebenen Probleme, die nach ausführlichen Untersuchungen bei der Auslegung aufgetreten sind, zu beseitigen. Es sollten erste Vorversuche an einer ausgewählten Betonpumpe in Zusammenarbeit mit der Firma Putzmeister durchgeführt werden, um eine Kompaktierung mit den geforderten Zielen zu realisieren.

Die geplanten Versuchsreihen wurden vorzeitig abgebrochen und der Versuch als gescheitert erklärt. Grund dafür war die massive Verstopfung innerhalb des Rohres (DN 200). Die Pumpe presste das Material (G30, W30) sehr gut mit Hilfe des Stempels in das Rohr. Allerdings waren die Reibungskräfte im Rohr so stark, dass die Förderung nur durch extrem starken Druck (Hydraulikleistung/Stromverbrauch) gewährleistet werden konnte. Nach einer horizontalen Förderstrecke von ca. 1,00 m verdichtete sich das Material innerhalb weniger Minuten so stark, dass eine Förderung in einem 30-Grad Bogen nicht mehr möglich war. Die Verstopfung kumulierte sich zurück bis in den Stempelraum, so dass die Beseitigung mehrere Stunden unter Nutzung massiver Stemmwerkzeuge in Anspruch nahm. Gemeinsam mit den Ingenieuren der Herstellerfirma wurde der Versuch als gescheitert erklärt, da zum einen die Förderung nicht gewährleistet ist und die Kompaktierung bei einer Verstopfung zu langen Stillstandzeiten führen würde. Schon kleinste Mengen von eher feinem und trockenem Material (G30, W20), welches als unproblematisch gilt, konnten nicht gefördert werden.

Wie mit dem Projektträger (PtJ) vereinbart, wurden die Mittel, die für dieses AP vorgesehen waren, für eine Kompaktierung mit der Pelletierung der Firma PUSCH AG umgewidmet. Die Pelletierung sieht 12 Mischchargen der Reststoffe Streuwiesengras, Kronenrestholz und Landschaftspflegeholz/Grünschnitt vor, wie sie am Biomassehof Achental vorkommen. Die Versuche mit den abschließend selektierten Mischpellets sollen im ersten Schritt an einem Laborvergaser durchgeführt werden. Details dazu siehe unter AP 2.3.

AP 1.4: Formulierung eines Gesamtkonzeptes zur optimierten Biomassemobilisierung in regionalen Wertschöpfungsketten

Als Zusammenfassung erster Analyseergebnisse und zur weiteren zielgerichteten Untersuchung und Umsetzung der optimierten Mobilisierung wurde ein „Gesamtkonzept zur optimierten Biomassemobilisierung in regionalen Wertschöpfungsketten“ erarbeitet. Dieses findet sich als separater Bericht in den Anlagen wieder; eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse folgt hier.

Die Brennstoffproduktion und –verwertung am Biomassehof Achental geschieht unter wirtschaftlich und ökologisch nachhaltigen Aspekten. Jedoch bedarf es für die vollständige Integration des Heatpipe-Reformers dennoch einer weiteren Optimierung, um für eine steigende Nachfrage in der Zukunft gerüstet zu sein. Eine Skalierung der Logistikketten auf größere Mengen ist möglich, da sowohl auf der Rohstoffseite noch ausreichend ungenutztes Energieholz-Potenzial vorhanden ist, als auch die einzelnen Verarbeitungsschritte noch ausgebaut werden können. Konkrete Strategien für den Ausbau der Bringungsketten werden abgeleitet; dabei sind zwei Punkte wesentlich: eine geschickte Brennstofftrocknung durch Polterung, Luftvortrocknung und effiziente Trocknungsgeräte sowie die Erschließung von Material aus minderwertigen Quellen wie zum Beispiel Landschaftspflege- oder Waldrestholz, da die ungenutzten Potenziale verstärkt in diesen Bereichen liegen.

Arbeitspaket 2: Datenerfassung und –auswertung

AP 2.1: Testbetrieb im Heizwerk Grassau

Die oben definierten Brennstoffe wurden auf ihre Eignung für die Verbrennung im Heizwerk Grassau untersucht. Dazu wurden repräsentativ ausgewählte Chargen einzelner Stoffe im Heizwerk verbrannt und die dabei auftretenden physikalischen Daten und das Brennverhalten allgemein gemessen. Ziel ist dabei die Feststellung der Eignung für die Verbrennung und die Eingliederung des Heizwerks in die Bringungsketten.

Konkret wurden die Energieausbeute, das Brennverhalten mit Lüftung, die Aschemenge und -qualität und schließlich die entstehenden Abgase gemessen. Zur Messung der Abgaswerte wurde ein „testo 335 Rauchgasanalysegerät“ von agnion verwendet. Bei den zu messenden Brennstoffen mussten Einschränkungen vorgenommen werden, da es zum Zeitpunkt der Untersuchungen kein KUP-Material in ausreichender Menge gab. Zudem wurde auf die Brennanalyse von nassem SRH/IRH verzichtet, da dieses am BAT aus wirtschaftlichen Gründen nicht für die Verwertung im Heizwerk gedacht ist bzw. vor der Verbrennung ohnehin getrocknet werden würde. Säge- und Industrierestholz wurden auf Grund ihrer sehr ähnlichen Eigenschaften zusammengefasst.

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Messwerte zusammengefasst. Die Daten sind Durchschnittswerte über einen mindestens zweistündigen Brennzeitraum, in dem jeweils ausschließlich der genannte Stoff verbrannt wurde.

In Tabelle 3 ist das allgemeine Brennverhalten (Flammenbild, Temperaturentwicklung, Brennwert) aufgeführt. Der Heizwert wurde dabei über den Wassergehalt und die Menge errechnet. Bis auf die erkennbaren Unterschiede im Energiegehalt nach Volumen sind beim Brennverhalten keine nennenswerten Abweichungen zwischen den einzelnen Stoffen feststellbar.

Tabelle 4 enthält die durchschnittlichen Abgaswerte über den zweistündigen Messzeitraum. Darin sind alle vom Analysegerät erfassten Parameter aufgeführt. Wie bereits beim Brennverhalten sind auch hier keine betriebsrelevanten Unterschiede feststellbar. Die teilweise stark abweichenden Anteile an Stick- und Kohlenoxiden zwischen den Materialien sind zwar analytisch interessant, bleiben jedoch alle unter den vorgegeben gesetzlichen Grenzwerten für diese Stoffe (nach TA Luft). Die „%"-Zahlen geben den Anteil des Stoffes am Gesamtvolumenstrom an, während die „ppm"-Spalten die exakten Mengen in „parts per million" angeben. „% eta" gibt den Wirkungsgrad und „Lambda" die Sauerstoffsättigung der Luft an.

Aschemenge und –qualität sind nur über einen längeren Zeitraum (mehrere Tage) ermittelbar. Hier kann man aber davon ausgehen, dass die durchschnittlichen Aschewerte von Waldrestholz (dem Hauptbrennstoff des Heizwerks Grassau) als Referenzwert dienen können. Denn über das Jahr hinweg wird stets die gleiche Mischung verschiedener Holzsorten im Heizwerk verwendet, hauptsächlich WRH mit einzelnen Chargen besserer oder schlechterer Qualität je nach Vorkommen. Sowohl die Filterasche als auch die Rostasche werden regelmäßig durch ein geprüftes chemisches Labor (AGROLAB in Bruckberg) untersucht und ordnungsgemäß durch das Heizwerk Grassau entsorgt.[9]

Tabelle 3: Brennverhalten und Energieinhalt der verschiedenen getesteten Brennstoffe (W = Wassergehalt)

Brennstoff	W	Brennverhalten	Heizwert (kWh/SRM)
Waldrestholz (WRH)	38%	T = 867°C; helles Flammenbild	ca. 750
Industrierestholz trocken	22%	T = 880°C; helles Flammenbild	ca. 820
Landschaftspflegematerial	49%	T = 834°C; helles Flammenbild	ca. 610

Tabelle 4: Abgaswerte der Brennstoffe aus Tabelle 3 (Durchschnitt über einen zweistündigen Messzeitraum)

Brennstoff	Lambda	% CO_2	% O_2	% CO	ppm NO	ppm NO_x	ppm CO_{unv}	% eta
WRH	6,84	3,06	17,83	0	58,75	61,50	61,5	91,48
IRH	6,97	3,82	17,28	0	22,54	23,62	515,67	79,08
LPM	9,30	2,17	18,75	0	45,13	47,21	429,85	93,56

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die analysierten Brennstoffe ohne Einschränkung zur Verbrennung im Heizwerk geeignet sind. Im Falle der nicht untersuchten KUPs kann man annehmen, dass aufgrund der vergleichbaren chemischen und mechanischen Eigenschaften das Verhalten von Holzhackschnitzeln aus KUP mit sehr kurzer Umtriebszeit (max. drei Jahre) ähnlich zu solchen aus LPM ist. HHS aus KUP mit mittlerer oder langer Umtriebszeit liegen mit ihren Eigenschaften zwischen WRH und SRH. Somit sind auch KUPs für das Heizwerk geeignet.

Die Feststellung der Eignung ist insofern wichtig, als damit alle Materialchargen, die im Heatpipe-Reformer aufgrund von Überlängen, erhöhten Kaliumgehalten, zu hoher Feuchtigkeit oder weiteren Qualitätsmängeln nicht ohne Vorbehandlung vergast werden können, problemlos im Heizwerk

[9] Für eine vollständige Schließung regionaler Nährstoffkreisläufe wäre es nötig, die in der Asche enthaltenen Nährstoffe wieder an den Entstehungsort des Holzes zurückzuführen. Hierzu gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen an anderer Stelle, die aber noch kein befriedigendes Ergebnis hervorgebracht haben.

verwertet werden können. Für die Gestaltung der Bringungsketten und der Materialaufbereitung am BAT ist diese Tatsache entscheidend.

AP 2.2: Testbetrieb in der Holzvergaser Anlage Grassau

Der Heatpipe-Reformer wurde zunächst mit Pellets betrieben, um Referenzpunkte im Anlagenverhalten zu erstellen. Anschließend erfolgte die Umstellung auf Hackschnitzel mit unterschiedlichen Qualitäten. Im zweiten Schritt wurden die bereits aufbereiteten und analysierten Brennstoffe (siehe AP 1) in den Anlagen testweise verwertet. Die gesammelten Erfahrungen wurden entsprechend beurteilt. Auch das Führen eines Betriebstagebuches über die täglich verwendete Brennstoffart und Qualität war Bestandteil der Aufgabe. Der im Achental gebaute Heatpipe-Reformer stellt mit seiner Nennleistung von 1,3 $MW_{therm,Input}$ das Standardkundenprodukt der Firma agnion dar. Die vorgesehenen Untersuchungen sollten daher in großtechnischem Maßstab stattfinden. Dieser Punkt konnte realisiert und entsprechende Ergebnisse dokumentiert werden. Probleme gab es nur im zweiten Schritt, da Mischpellets in der Großanlage nicht eingesetzt werden konnten. Details dazu befinden sich in den Anlagen (Teilbericht AP 2.2 und 2.4). Folgend dargestellt sind nur die wichtigsten Ergebnisse aus diesem Arbeitsparket.

Referenzpunkt Holzpellet: Über sechs Monate wurde der Betrieb mit NaWaRo-Holzpellets in der Anlage in Grassau durchgeführt und dokumentiert. Hieraus ist zu erkennen, dass ein hoher Kohlenstoffumsatz und somit ein hoher Synthesegasmassenstrom von 343 kg/h erreicht werden konnte. Für das BHKW wurde eine ideale Gaszusammensetzung gemessen, die einen hohen Wirkungsgrad für das Motorkonzept „Single Point Injection“ bedeutet. Zusammenfassend ist zum Pelletbetrieb zu sagen, dass die simulierten Parameter in der Praxis sehr präzise erreicht wurden und daher der Pelletbetrieb als geeigneter Referenzpunkt angesehen werden kann. In folgender Tabelle 5 sind die wichtigsten Bilanzergebnisse für den Betrieb mit Holzpellets im Reformer dargestellt. Die Zahlen stellen Mittelwerte über den Zeitraum dar.

Tabelle 5: Bilanzergebnisse des Heatpipe-Reformers in Grassau mit NawaRo-Holzpellets

Bezeichnung	Menge	Einheit	Bezeichnung	Menge	Einheit
Synthesegas					
Synthesegasstrom feucht	343	kg/h	Kondensatstrom im Syngas	118	kg/h
Synthesegasstrom trocken	225	kg/h	Koksmassenstrom	21	kg/h
Feuchtegehalt Syngas	34,7	w%	Synthesegasleistung	633	kW
Molekulargewicht Syngas	20,0	kg/kmol	unterer Heizwert Syngas f.	1,9	kWh/kg
molare Synthesegaszusammensetzung feucht					
H_2	22,4	vol%	CH_4	6,3	vol%
CO	9,8	vol%	N_2	7,8	vol%
CO_2	15,0	vol%	H_2O	38,4	vol%
Synthesezusammensetzung feucht (Massen%)					
H_2	2,2	w%	CH_4	5,1	w%
CO	13,8	w%	N_2	10,9	w%
CO_2	33,1	w%	H_2O	34,8	w%
Betriebsergebnisse					
Kaltgaswirkungsgrad	62,6	%	Dampfüberschuss Sigma	2,9	-
Koksumsatz (Annahme: 20 w% fixed Carbon)	41,1	%	$\eta_{el.}$ (bez. auf Brennstoff ohne Eigenverbrauch)*	23,8	%

Mittlere Reformer Temp.	809	°C	Mittlere BK Temperatur	873	°C
Temperaturspreizung Reformer - Brennkammer	64	°C			

**während des Bilanzierungszeitraums wurde nicht das gesamte Produktgas dem Motor zugeführt*

Betrieb Holzhackschnitzel: Im Frühjahr 2012 wurde der Heatpipe-Reformer mit NaWaRo-Holzhackschnitzeln in der Partikelverteilung P16B (G30) gefahren. Die anfänglichen Schwierigkeiten in der Fördertechnik wurden durch eine Qualitätssicherung des Hackprozesses eingedämmt, in dem Überlängen > 120 mm vermieden und Partikel > 45 mm vermindert wurden. Dadurch konnten auch einige Betriebsstunden bis Januar 2013 (nach einer Revision der Brennkammer von August-Oktober 2012) mit entsprechenden Ergebnissen gesammelt werden. Zusammenfassend ist zum Holzhackschnitzelbetreib zu sagen, dass die Qualität der Hackschnitzel gewährleistet werden muss, um Probleme mit der Förderung in den Griff zu bekommen. Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, dass noch kein optimaler Betriebspunkt für die Großanlage gefunden wurde. Gründe hierfür sind aber nicht auf den Brennstoff zurückzuführen, sondern liegen in unterschiedlichen technischen Details der Anlage. Aufgrund der wirtschaftlich angespannten Situation der Firma agnion konnten diese noch nicht restlos beseitigt werden.

In den beiden folgenden Tabellen (Tabelle 6, Tabelle 7) sind die wichtigsten Bilanzergebnisse für den Brennstoff Holzhackschnitzel für die Messpunkte MP1 und MP2 dargestellt. Die Werte stellen Mittelwerte über die betrachteten Messzeiträume dar. Zur Bilanzierung des Messpunkts MP1 wurde ein Zeitraum von 4 Stunden betrachtet (02.08.2012 von 11:00 bis 15:00). Die Anlage ist davor für ca. 24 h stabil mit konstanten Stoffeintrittsmengen ohne Ausfälle oder Störungen gelaufen. Eine erneute Anlagenvermessung wurde im Januar 2013 durchgeführt. Die Anlage wurde dabei mit erhöhter Leistung betrieben. Die Daten dieses Versuchs werden im Messpunkt MP2 beschrieben.

Tabelle 6: Bilanzergebnisse des Betriebs mit Holzhackschnitzeln (Messpunkt 1)

Bezeichnung	Menge	Einheit	Bezeichnung	Menge	Einheit
Synthesegas					
Synthesegasstrom feucht	284,9	kg/h	Kondensatstrom im Syngas	122,8	kg/h
Synthesegasstrom trocken	162,1	kg/h	Koksmassenstrom	21,25	kg/h
Wassergehalt Syngas	48,4	Vol%	Synthesegasleistung	389,7	kW
Molekulargewicht Syngas	19,8	kg/kmol	unterer Heizwert Syngas f.	1,22	kWh/m^3
molare Synthesegaszusammensetzung trocken					
H_2	33,2	vol%	CH_4	8,5	vol%
CO	14,3	vol%			
CO_2	23,9	vol%	H_2O	48,35	vol%
Betriebsergebnisse					
Feuerungswärmeleistung	899	kW	Kaltgaswirkungsgrad	43,33	%
SynGas-Leistung	390	kW	$\eta_{el.}$ (bez. auf Brennstoff ohne Eigenverbrauch)*	16,9	%
Leistung Motor ohne EV*	150	kW	Eigenverbrauch	Ca. 70	kW
Temperaturspreizung Reformer - Brennkammer	46	°C			
Mittlere Reformer Temp.	804	°C	Mittlere BK Temperatur	850	°C
Temperaturspreizung Reformer - Brennkammer	46	°C			

Tabelle 7: Bilanzergebnisse des Betriebs mit Holzhackschnitzeln (Messpunkt 2)

Bezeichnung	Menge	Einheit	Bezeichnung	Menge	Einheit
Synthesegas					
Synthesegasstrom feucht	376,7	kg/h	Kondensatstrom im Syngas	177,9	kg/h
Synthesegasstrom trocken	198,8	kg/h	Koksmassenstrom	25,01	kg/h
Wassergehalt Syngas	50,6	Vol%	Synthesegasleistung	546,3	kW
Molekulargewicht Syngas	18,9	kg/kmol	unterer Heizwert Syngas f.	1,23	kWh/m^3
molare Synthesegaszusammensetzung trocken					
H_2	36,9	vol%	CH_4	8,1	vol%
CO	13,1	vol%			
CO_2	26,5	vol%	H_2O	50,6	vol%
Betriebsergebnisse					
Feuerungswärmeleistung	1338,8	kW	Kaltgaswirkungsgrad	40,8	%
SynGas-Leistung	546,3	kW	$\eta_{el.}$ (bez. auf Brennstoff ohne Eigenverbrauch)*	11,20	%
Leistung Motor ohne EV*	150	kW	Eigenverbrauch	Ca. 70	kW
Temperaturspreizung Reformer - Brennkammer	46	°C			

**Aufgrund von Inbetriebnahme-bezogenen Problemen der Motorregelung konnte während des Bilanzierungszeitraums nicht das gesamte Gas dem Motor zugeführt werden. Besonders beim Messpunkt MP2 ergibt sich dadurch ein nicht unwesentlich erniedrigter elektrischer Wirkungsgrad.*

AP 2.3: Installation und Test der Kompaktiereinheit am Heatpipe-Reformer

Laut AP 2.3 sollte die Kompaktierung nach den Voruntersuchungen aus AP 1.3 an den Vergaser im Achental installiert werden. Aufgrund der negativen Erfahrungen mit den Versuchen in Kössen wurde deren Installation jedoch zurückgestellt. Der neue Ansatz für das weitere Vorgehen sah vor, jene Reststoffe, die durch kritische Inhaltsstoffe und sehr große Inhomogenität auffielen, durch den Prozess der Pelletierung zu homogenisieren. Diese Pelletierung wurde extern an die Firma Pusch AG vergeben. Diese Pellets wurden für erste Versuche im Technikum (in Graz, AT) getestet, um eine erste Aussage darüber zu erhalten, welche Mischpellets in der Großanlage eingesetzt werden könnten. Damit wurde das AP 2.3 mit dieser ebenfalls wichtigen Alternative abgeschlossen.

Es wurden die von der Fa. Pusch hergestellten Mischpellets im Labormaßstab getestet. Dabei kamen Pellets aus Grünschnitt, Kronenrestholz und Streuwiesengras mit und ohne Additiv zum Einsatz. Aus diesen Vorversuchen sind nun erste Erkenntnisse über einen bis dahin unbekannten und in dieser Form noch nie getesteten Brennstoff vorhanden. Zum Einen sieht man (Details im Teilbericht in den Anlagen), dass Streuwiesengras ohne Additiv ein enormes Risiko für den sofortigen Einsatz in einer Großanlage darstellt, da es zu schwerwiegenden anlagentechnischen Schäden führen kann. Zum Anderen kann man die getesteten Brennstoffe mit diesen sehr kurzen Versuchen nur schwer beurteilen. Somit ist die Tauglichkeit der Brennstoffe im Heatpipe-Reformer trotz dieser Versuche noch weiterhin fraglich. Das Risiko teurer Anlagenschäden, Stillstands-Zeiten und Reparaturarbeiten ist bei nicht ausreichend getesteten Brennstoffen hoch.

Auch wurde gezeigt, dass man bestimmte Schwierigkeiten, wie sie etwa bei Gräsern sehr häufig auftreten (niedrige Ascheschmelztemperaturen), mit Additiven entgegenwirken kann.

Aufgrund der genannten Ergebnisse ging man dazu über, die erfolgsversprechenden Brennstoffe aus den Vorversuchen in Langzeitversuchen zu testen, die Gasqualität zu bestimmen und ihr Verhalten in der Wirbelschicht bezüglich Agglomerationen als Langzeiteffekt weiter zu untersuchen. Des Weiteren

sollte die Wirkung von Additiven weiter untersucht werden und Gegenmaßnahmen zu den in den Vorversuchen aufgetretenen Problemen (Klumpenbildung durch in den Brennstoff mitpelletiertes Kaolin) zu finden. Details dazu finden sich auch im Punkt AP3.2 wieder.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass mittels einer Zugabe von Kaolin Brennstoffe genutzt werden können, die ansonsten bereits nach wenigen Stunden zu Agglomerationen führen würden. Dieser Meilenstein in der Entwicklung konnte aufgrund der Durchführung dieses Projekts erreicht werden. Tests mit derartigen Additiven werden in Zukunft in Grassau durchgeführt werden. Das Risiko von Anlagenschäden steht diesen Tests nicht mehr hemmend entgegen.

Detaillierte Ergebnisse sind dem Anhang (Teilbericht AP2.3 und 3.2) zu entnehmen.

AP 2.4: Kontinuierliche Analyse der erzeugten Brennleistung

Genaue Details zum Betriebspunkt der Anlage siehe AP2.2. Folgend sind die wichtigsten Ergebnisse aus den Versuchen im Heatpipe-Reformer mit den Brennstoffen Holzpellets und Holzhackschnitzel zusammengefasst.

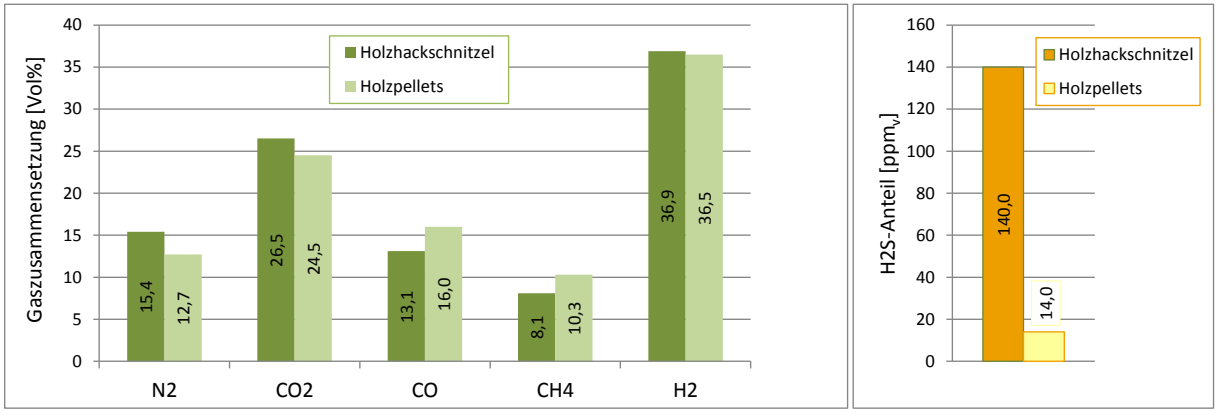

Abbildung 8: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Gaszusammensetzung der Versuche

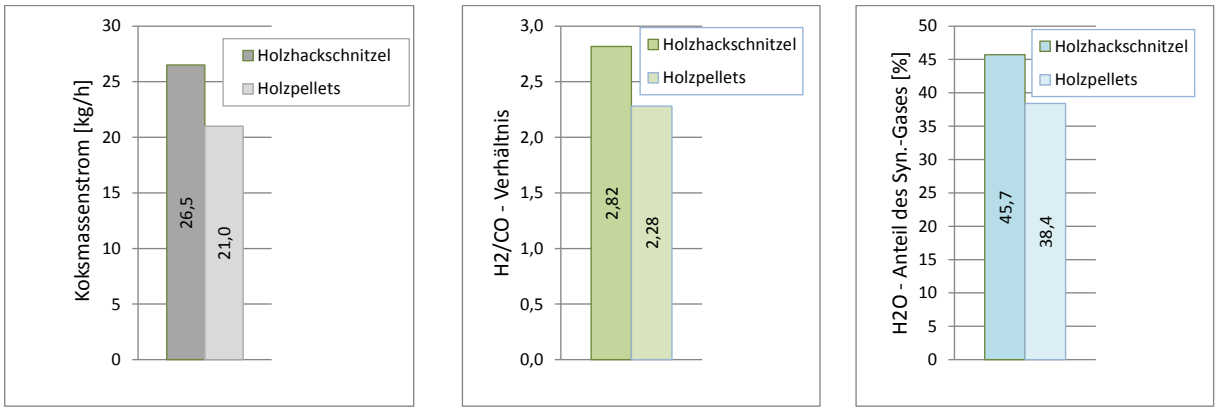

Abbildung 9: Koksmassenstrom, H2/CO-Verhältnis und Wasseranteil der Versuche

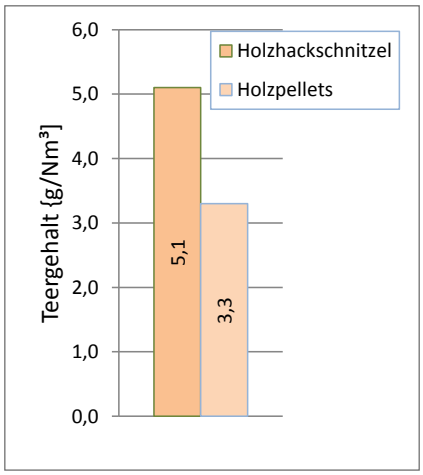

Abbildung 10: Teergehalt der Versuche

Aufgrund von diversen anlagentechnischen Problemen (Hackschnitzelförderung in die Brennkammer; Ausmauerungen in der Brennkammer; geringer Wärmeeintrag in den Reformer nach dreimonatiger Revision) sind die dargestellten Ergebnisse für die gesamte Bewertung der Anlage nicht ausreichend geeignet. Der Vergleich der Gasqualitäten ist aber absolut zulässig und aussagekräftig. Die entstandenen Probleme sind anlagenbedingt. Die Qualitätsprobleme des Brennstoffs beim ersten Versuch mit Holzhackschnitzeln konnten beseitigt werden.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass beide Brennstoffe eine annähernd gleiche Permanentgaszusammensetzung erwirken. Signifikante Unterschiede weisen Holzhackschnitzel beim Schwefelwasserstoffgehalt auf. Dieser liegt zehnmal so hoch wie bei Holzpellets. Auch der Teergehalt ist bei Holzhackschnitzeln wesentlich höher als bei einem Betrieb mit Holzpellets. Als Ursache für beide Änderungen kann der höhere Rindenanteil der Holzhackschnitzel genannt werden.

Auch der errechnete Koksmassenstrom sowie das H_2/CO-Verhältnis sind bei dem Versuch mit Holzhackschnitzel leicht höher als bei dem Versuch mit Holzpellets.

Für den Anlagenbetrieb sind die Unterschiede der beiden Brennstoffe nicht entscheidend. Somit kann der Heatpipe-Reformer sowohl mit Holzpellets als auch mit Holzhackschnitzeln verfahrenstechnisch ohne Probleme eingesetzt werden.

Arbeitspaket 3: Optimierung des Brennstoffeinsatzes

AP 3.1: Aufbau und Erprobung der optimierten Mobilisierung

Die grundsätzliche Struktur der Bringungsketten am Biomassehof Achental wird im Bericht zu AP 1.4 ausführlich dargestellt. Das geplante Ergebnis war, die Überlegungen und Versuche aus AP 1, das gesammelte Erfahrungswissen am Biomassehof und die ersten Erfahrungen mit dem HPR in eine praktische Umsetzung optimierter Bringungsketten zu bringen.

Aus verschiedenen Eingangsstoffen (Waldrestholz, Landschaftspflegematerial, Sägerestholz, Industrierestholz, Kurzumtriebsplantagen-Holz) werden am Biomassehof drei Qualitätsstränge aufbereitet: Hackschnitzel mit sehr guter, mittlerer und minderwertiger Qualität. Die verschiedenen Klassen kommen dabei je nach Verwertungsanlage zum Einsatz: Premium-Qualität für Endkunden, minderwertige Qualität für die Heizwerke Grassau und Grabenstätt, Mischqualität für den Heatpipe-

Reformer. Alle Brennstoffe können zu einem wirtschaftlich und ökologisch angemessenen Aufwand produziert werden.

Zur weiteren Optimierung der Aufbereitung wurden zwei umfangreiche Versuchsreihen zur Trocknung von Hackschnitzeln gestartet. Eine davon fand am Biomassehof Achental statt (März bis Mai 2013) und verwendete einen semi-kontinuierlichen Containertrockner der Firma Terbrack aus Vreden. Dabei wurde die Effizienz der Trocknung von einem ausgeklügelten Containersystem untersucht. Die zweite Reihe fand (im Rahmen eines Unterauftrags) am Biomassehof Berthelsdorf in der Oberlausitz statt (August 2012 bis Mai 2013) und verwendete verschiedene technisch einfache Standardcontainer. Dabei wurde neben der Effizienz der einzelnen Container besonderer Wert auf den Vergleich zwischen verschiedenen Boden- und Deckelsystemen gelegt. Der Unterauftrag wurde vom Biomassehof Achental nach Berthelsdorf vergeben, weil dort bereits die Infrastruktur für diese Versuchsdurchführung (multipler Wärmeanschluss, verschiedene Container, dauerhafte Wärmeversorgung über eine Biogasanlage) vorhanden war.

Die Ergebnisse beider Versuche lassen sich jeweils in einem Bericht in den Anlagen nachlesen.

Die drei Teile dieses Arbeitspakets waren die Umsetzung der optimierten Mobilisierung, mit Einbau der neuen Erkenntnisse aus den Versuchen soweit angebracht, das damit einhergehende Qualitätsmanagement und die Trocknungsversuche. Insbesondere zur praxisnahen Darstellung der aufgebauten Bringungsketten (siehe auch Abbildung 2 und den Bericht zu AP 1.4: Formulierung eines Gesamtkonzeptes zur optimierten Biomassemobilisierung in regionalen Wertschöpfungsketten) sind Fachbesucher stets am Biomassehof Achental willkommen.

Eine Fotostrecke der Bringungsketten am Biomassehof Achental ist im Anhang in Abbildung 13 zu sehen.

AP 3.2: Fortlaufende Analyse des Anlagenbetriebes in Grassau

Das AP 3.2 sah vor, den Holzvergaser in Grassau (Heatpipe Reformer) mit den zuvor gewonnenen Erkenntnissen im Dauerbetrieb zu betreiben. Des Weiteren sollte eine Analyse des Anlagenbetriebes durchgeführt werden. Da es aber schon bei den Arbeitspaketen AP 2.2 und AP 2.3 zu technischen Schwierigkeiten gekommen ist, konnten daraus nur wenige Betriebsstunden gesammelt werden. Die erforderlichen Umbaumaßnahmen bzw. Reparaturarbeiten am Heatpipe-Reformer und die angespannte wirtschaftliche Situation (mit zeitweiser Insolvenz) der Firma agnion Technologies machten eine termingerechte Einhaltung der geforderten Aufgaben im AP 3.2 nicht möglich, da die Reparaturarbeiten am Heatpipe-Reformer langsamer verliefen als geplant. Nach der Neugründung im Mai 2013 wurde daran gearbeitet, dieses Projekt positiv abzuschließen. Da sich auch schon im AP 2.2 erwiesen hat, dass die Ergebnisse des Laborvergasers im Technikum absolut vergleichbar mit jenen in der Großanlage sind, entschied man sich, die im AP 2.3 gewonnenen Erkenntnisse weiterzuführen und die dazu benötigten Langzeitversuche im Labormaßstab zu intensivieren. Auch im AP 2.3 wurde gezeigt, dass der Einsatz von Mischpellets in einer Großanlage ein signifikantes Kostenrisiko darstellt, da die Inhaltsstoffe solcher Pellets stark von den kommerziell einsetzbaren Holzpellets abweichen und somit Schäden an der gesamten Anlage verursachen könnten. Die geforderte Grundaussage für dieses AP 3.2 bleibt aber die gleiche.

Aus ersten Kurzzeitversuchen (siehe AP 2.3) kann man Ergebnisse bezüglich des Schmelzverhaltens verschiedenster Brennstoffe beurteilen. Somit kann eine Vorselektierung der unterschiedlichsten Brennstoffe stattfinden und eine erste Aussage über die Eignung im Heatpipe-Reformer getroffen werden. Jedoch werden hierbei Langzeiteffekte, wie coating-induziertes Agglomerationsverhalten beziehungsweise Korrosionsneigung, nicht bewertet. Dazu wurden diese Langzeitversuche durchgeführt. Mögliche Schäden an der Versuchsanlage im Technikum durch Probleme mit dem Brennstoff verursachen im Labormaßstab viel geringere Kosten als jene bei einer Großanlage. Auch das Risiko eines Totalausfalls der Großanlage kann somit verhindert werden. Bei Langzeitversuchen kann auch die Qualität des Produktgases besser analysiert und ausgewertet werden (Teere, Schwefel, Olefine, Kondensatmessungen). Somit sind solch Versuche unbedingt vor jedem Einsatz in einer Großanlage durchzuführen.

Die in dem Teilbericht zu AP2.3 und 3.2 gezeigten Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Kronenrestholz für die Großanlage getestet werden kann. Dabei sind Probleme mit Störstoffen und dem erhöhtem Schwefelgehalt im Gas zu berücksichtigen (durch geeignete Qualitätssicherung bei der Materialaufbereitung und in der Gaswäsche).

Streuwiesengras ist ein Problemstoff beim Einsatz im Heatpipe-Reformer. Jedoch kann mit entsprechenden Gegenmaßnahmen (Additiv Kaolin) auch dieser Brennstoff eingesetzt werden. Wichtig ist dabei die entstehende Gasqualität (v.a. Teer, Schwefel) für die weitere Verwendung des entstandenen Gases (katalytische Gasreinigung, Motornutzung) zu beobachten.

Bei Grünschnittpellets konnten aus dem Vorversuch keine Probleme festgestellt werden. Erst beim Langzeitversuch zeigten sich coating-induzierte Agglomerationen. Somit ist auch dieser Brennstoff in der oben dargestellten Form nicht ohne weitere Adaptionen (z.B. mit Kaolin) einsetzbar.

Detaillierte Ergebnisse sind dem Anhang (Teilbericht AP2.3 und 3.2) zu entnehmen. Auch das in diesem Arbeitspaket erstellte Einsatzstoff-Tagebuch für die Anlage in Grassau befindet sich im Anhang. Die gesamte Einsatzzeit von ca. 2.200 Betriebsstunden mit dem jeweiligen Brennstoff ist dort aufgelistet. Im Heatpipe-Reformer konnten nur der Referenzbrennstoff Holzpellets und die Umstellung auf Holzhackschnitzel durchgeführt werden (siehe AP 2.2). Alle weiteren Versuche mit den entsprechenden Mischpellets wurden aufgrund von technischen Schwierigkeiten, die bei den Vorversuchen aufgetreten sind (Details siehe Anhang Teilbericht AP2.3 und 3.2), nicht in der Großanlage durchgeführt. Es drohte eine Zerstörung der Anlage bei nicht ausreichend getesteten Brennstoffen. Aus diesem Grund wurden die Versuche im Labor intensiviert (Langzeitversuche). Die Ergebnisse dazu sind dem Anhang (Teilbericht AP2.3 und 3.2) zu entnehmen.

AP 3.3: Bewertung der Anlageneffizienz

Die Bewertung der Anlageneffizienz wurde von externen Experten durchgeführt (Fraunhofer Umsicht). Das Ergebnis dazu befindet sich im Anhang.

Arbeitspaket 4: Dokumentation der Ergebnisse

AP 4.1: Zusammenfassung und Dokumentation der technischen Rahmenparameter

Das Handbuch für den technischen Betrieb des Heatpipe-Reformers ist in den Anlagen zu diesem Bericht aufgeführt.

AP 4.2: Zusammenfassung und Dokumentation der wirtschaftlichen Rahmenparameter

Das Handbuch der wirtschaftlichen Aufbereitung von Biomasse zu definierten Brennstoffen ist ebenfalls in den Anlagen zu finden.

Arbeitspaket 5: Vorbereitung wirtschaftlich betriebener Anlagen

AP 5.1: Machbarkeitsuntersuchung für die Produktion von Bio-SNG bzw. CNG für Transportfahrzeuge am Biomassehof

Details zur Untersuchung der Machbarkeit einer SNG-Produktion am Biomassehof Achental sind dem Bericht zu AP 5.1 in den Anlagen zu entnehmen. Hier findet sich nur eine kurze Zusammenfassung des Hauptergebnisses.

Technisch ist es möglich am Standort BAT eine kleinskalige (1,3 MW_{FWL}) Biomasse-SNG Anlage zu betrieben. Die dazu benötigten Komponenten der katalytischen Gasreinigung und Methan-Synthese wurden von agnion bereits im Pilotmaßstab getestet. Dabei konnten zuvor ermittelte Laborergebnisse reproduziert werden. Die Anlage zur CO_2-Abtrennung und Gasaufbereitung wird als Zukaufteil beigestellt. Technisch funktionierende Technologien sind für Biogas-Anwendungen am Markt und müssen für den Einsatz an Biomasse-SNG nur gering adaptiert werden.

Ein wirtschaftlicher Einsatz der Technologie ist jedoch am Standort Grassau (mit 1,3 MW_{FWL}) nicht möglich.

AP 5.2: Machbarkeitsuntersuchung für die Errichtung eines weiteren Holzvergasers auf dem Gelände des Biomassehofs Oberlausitz in Sachsen

Die Studie wurde vom Unterauftragnehmer Bioenergie Ostsachsen durchgeführt. Auf Grund der in der Untersuchung festgestellten günstigen Voraussetzungen in Ostsachsen wurde eine weitergehende Untersuchung der Aufstellung eines Heatpipe-Reformers auf einem Industriegelände in Dresden beauftragt.

Die Ergebnisse beider Studien finden sich im Detail in den beiden Abschlussberichten dazu, die in den Anlagen aufgeführt sind. Die Studie für Ostsachsen ist in zwei Teile gegliedert: die Analyse der Potenziale für die Mobilisierung und Aufbereitung von Biomasse-Rohstoffen zu Brennstoffen, sowie die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der Errichtung eines Heatpipe-Reformers. In der Dresdner Analyse sind beide Teile zusammengefasst.

In Dresden erscheint die Errichtung eines Heatpipe-Reformers auf dem Industriegelände Albertstadt wirtschaftlich und technisch möglich. Dieser Standort weist eine Reihe von günstigen Voraussetzungen aus:

- Direkte Nachbarschaft zu einem Biomasse-Logistikzentrum
- Gute Anbindung an die Autobahn A4
- Großer Wärmebedarf von gewerblichen und industriellen Kunden
- Großenteils veraltete Wärme- Infrastruktur (Heizkessel)

- Ausreichend Flächen und Hallen zur Brennstoff- Bevorratung.

Arbeitspaket 6: Projektmanagement und Verbreitung der Ergebnisse

AP 6.1: Präsentation der Projektergebnisse auf einschlägigen Fachtagungen

Beide Partner besuchten im Projektzeitraum zahlreiche Fachtagungen und konnten dort vielfach auch das Vorhaben und die Ergebnisse einem interessierten Publikum vorstellen. Eine detaillierte Auflistung der einzelnen Termine findet sich unter „Zusammenarbeit mit anderen Stellen".

AP 6.2: Fortlaufende Darstellung der Projektentwicklung auf den gut besuchten Internet Seiten von agnion und BAT.

Hierzu wird auf die zwei Homepages der Firmen verwiesen, auf denen das Projekt und die Ergebnisse laufend dargestellt wurden:

- http://www.biomassehof-achental.de/
- http://www.agnion.de/

Zudem wurde das Projekt auch auf folgenden Seiten dokumentiert:

- Bioenergie-Region Achental: http://www.bioenergie-region-achental.de/
- Seite aller deutschen Bioenergie-Regionen: http://www.bioenergie-regionen.de/
- Unterseite des BMU-Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung": http://www.energetische-biomassenutzung.de/index.php?id=268

AP 6.3: Intensive Verbreitung der Ergebnisse in den Bioenergie-Regionen des BMELV sowie innerhalb des Service- und Begleitvorhabens des Programms

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden laufend auf den Treffen der nationalen Bioenergie-Regionen erwähnt und auf den Homepages der Bioenergie-Region Achental und der aller Bioenergie-Regionen eingestellt.

Die sehr zahlreichen Führungen (oft mehrere pro Woche) auf dem Gelände des Biomassehofs Achental wurden immer auch mit einer Besichtigung des Heatpipe-Reformers und einer Darstellung des Vorhabens verbunden.

Im Projektzeitraum wurden alle Statuskonferenzen des Service- und Begleitprogramms (2011, 2012 und 2013) besucht und das Projekt dort jeweils vorgestellt.

AP 6.4: Fachsymposium am Biomassehof Achental

Die agnion Technologies GmbH hat gemeinsam mit dem Biomassehof Achental am 11.10.2012 ein Fachforum zum Thema „Strom- und Wärmeerzeugung aus Biomasse" veranstaltet. Die Tageskonferenz mit Besichtigung des Heatpipe-Reformers und des Biomassehofs mit Heizwerk in Grassau lockte mehr als 100 Teilnehmer an den Chiemsee.

Den Auftakt der Veranstaltung machte Wolfgang Wimmer, Geschäftsführer des Biomassehofs Achental, mit seinem Vortrag über die „Optimierung regionaler Kreisläufe am Beispiel der

Bioenergie-Region Achental“. Darin beschrieb er anschaulich die Ziele und Inhalte der Bioenergie-Region Achental und lud andere Gemeinden und Regionen ein, von dem Modellprojekt für eigene Vorhaben zu profitieren.

Im Anschluss führte der agnion Brennstoff-Experte Martin Oelkers die Zuhörer in die Welt alternativer Brennstoffe und die Einflussfaktoren des Erneuerbare-Energien-Gesetz 2012 (EEG 2012) ein. Zentrale Aussage: Das große Potenzial verschiedenartiger Biomasse und biogener Brennstoffe wird zukünftig ein wichtiger Baustein der regenerativen Energieversorgung in Europa werden.

Den nächsten Programmpunkt übernahm Piotr Sniady, RES Projects GmbH, mit der Vorstellung einer erfolgreichen Projektentwicklung am Beispiel einer Biomethananlage. Anhand konkreter Beispielprojekte wurden typische Risiken und Herausforderungen in der Projektauswahl sowie die Bedeutung der Wahl der richtigen Projektpartner dargestellt.

Ein anerkannter Experte für Synthesegase aus Biomasse, Tim Schulzke vom Fraunhofer UMSICHT-Institut, erklärte die „Grundlagen der Holzvergasungstechnologie“. Die Teilnehmer erfuhren aus objektiver Sicht von den chemischen Vorgängen, den unterschiedlichen Reaktortypen und Vergasungsmitteln sowie den Hauptschwierigkeiten bei der Vergasung von Biomasse.

Dr. Günther Herdin, Geschäftsführer der PGES GmbH und renommierter Motorspezialist, begann den Nachmittag mit einem informativen Bericht über „Neue Entwicklungen beim Einsatz von Gasmotoren, Mikrogasturbinen und ORC-Anlagen in der Biomassevergasung“. Sein Fazit: Die Vergasung und Verstromung durch einen Gasmotor ist die effektivste Form der Konvertierung.

Den Abschluss der Fachvorträge gestaltete Felix Nelles, Leiter Business Development bei agnion, mit einem Ausblick auf die zukunftsweisende Verwertung von Synthesegas. Dabei wurde deutlich, dass die Zeit für Biomethan aus Holz und holzbasierte Regelenergiebereitstellung gekommen ist. Durch den Tag und die praxisnahen Vorträge führte Eike Liekweg, Vertriebsleiter von agnion.

Von vielen Teilnehmern als Höhepunkt eingestuft wurde die Anlagenführung im Heatpipe-Reformer in Grassau. Neben den Rundgängen in der Holzvergasungsanlage in Kleingruppen konnten auch das Heizwerk und der gesamte Biomassehof Achental besichtigt werden.

Zusammenfassen kann man den Tag am besten mit den Worten eines Teilnehmers: „Eine runde und gelungene Veranstaltung, die einen fundierten Überblick über den Stand der Technik im Bereich Holzvergasung geboten hat und die Theorie mit der Besichtigung des agnion Heatpipe-Reformers greifbar gemacht hat“.

Abbildung 11: Besucher im Vortragssaal

Abbildung 12: Führung durch den Heatpipe-Reformer

AP 6.5: Projektmanagement

Das Projektmanagement war geprägt von einer guten Zusammenarbeit zwischen beiden Partnern. Auch die Kooperation mit dem Zuwendungsgeber (BMU) und Koordinator (PtJ) war aus Sicht der Autoren sehr gut und professionell.

Bei auftretenden Schwierigkeiten wie der verzögerten Inbetriebnahme und insbesondere der zeitweiligen Insolvenz von agnion (Februar bis Mai 2013) war die Durchführung des Vorhabens dank der vertrauensvollen Zusammenarbeit und dem großen Engagement der in das Projekt eingebundenen Mitarbeiter nicht gefährdet.

Alle Berichte und Nachweise wurden pünktlich abgegeben.

Im Zeitraum des Vorhabens wurden regelmäßig Projekttreffen mit Vertretern von agnion und dem Biomassehof Achental abgehalten:

- 19.01.2011, München (mit PtJ)
- 30.03.2011, Grassau (mit DBFZ)
- 15.06.2011, Pfaffenhofen
- 08.08.2011, Grassau
- 05.10.2011, Grassau
- 08.12.2011, Telefonkonferenz
- 29.02.2012, Grassau
- 12.06.2012, Grassau
- 17.07.2012, Grassau (mit Terbrack Maschinenbau)
- 11.10.2012, Rottau bei Grassau (im Rahmen des Fachforums)
- 10.01.2013, Grassau
- 06.03.2013, Grassau (mit Hochschule Zittau/Görlitz und Bioenergie Ostsachsen)
- 04.07.2013, Grassau

Gesamtergebnis

In den einzelnen Arbeitspaketen konnten, wie oben und in den angehängten Teilberichten ausführlich dargestellt, zahlreiche Erkenntnisse über den Betrieb eines dezentralen Holzvergasers und dessen Eingliederung in Versorgungsstrukturen gewonnen werden. Auch Fortschritte bei den förderpolitischen Zielen in Bezug auf die dreifache Nachhaltigkeit (ökonomisch, ökologisch, sozial) konnten erreicht werden.

Die zwei entscheidenden Faktoren für einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb des Heatpipe-Reformers sind eine Logistik und Brennstoffproduktion, die verschiedene Brennstoffe in ausreichender Qualität und Menge zur richtigen Zeit und einem günstigen Preis zur Verfügung stellt, sowie eine ausgereifte und erprobte Technik der Holzvergasung, die zuverlässig und effizient aus den Brennstoffen Strom und Wärme erzeugt. In beiden Bereichen konnten durch dieses Projekt erhebliche Fortschritte erzielt werden: sowohl der Aufbau und die Strukturen der regional verankerten und leistungsfähigen Aufbereitung von Rohstoffen zu Brennstoffen wurden untersucht und optimiert (u.a. die Trocknung von HHS und die Versorgung verschiedener Energieanlagen), als auch der Aufbau und die technische Reife der Holzvergasung mit Hilfe des Heatpipe-Reformers

wurden im Wesentlichen nachgewiesen (u.a. der stabile Betrieb mit Pellets und HHS und die Entwicklung von Mischpellets). In beiden Bereichen konnten auch wichtige Erkenntnisse über den weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf gewonnen werden.

Für eine ökologisch vorbildliche Bioenergie-Bereitstellung sind die Effizienz der Aufbereitung und Verwertung entscheidend. Hier kann der Biomassehof Achental auf Grund seiner regionalen Struktur ebenfalls klare Erfolge vorweisen, die durch das Projekt nochmal verfeinert wurden. Auch bei agnion sind die Voraussetzungen für einen ökologisch effizienten Betrieb des Heatpipe-Reformers grundsätzlich gegeben, wie die einzelnen Versuche gezeigt haben. In Tabelle 8 ist eine Übersicht über die Treibhausgas-Einsparungen am BAT mit Hilfe dieses Optimierungsprojekts gegeben.

Tabelle 8: Treibhausgas-Einsparungen am Biomassehof Achental

Anlage	Energiemenge	Summe	CO_2-Faktor	CO_2-Einsparung
Biomassehof Achental (Verkauf Premium-HHS + Spartenware)	30.900 MWh	51.800 MWh	0,266 t/MWh (Heizöl)	**13.779 t**
Heizwerk Grassau (Fernwärme)	14.000 MWh			
Heizwerk Grabenstätt (Fernwärme)	2.200 MWh/a			
Heatpipe-Reformer (Fernwärme)	4.700 MWh			
Heatpipe-Reformer (Strom)	3.000 MWh	3.000 MWh	0,538 t/MWh (Strommix n. UBA)	**1.614 t**
Summe				**15.393 t**

Für die soziale Nachhaltigkeit bringt die Aufbereitung und Verwertung lokal erzeugter Bioenergie drei entscheidende Vorteile mit sich: die Verarbeitung erzeugt Arbeitsplätze in der Region, die Versorgung mit Biomasse ist günstiger als mit fossilen Brennstoffen (was vor allem Kommunen mit ihren großen Liegenschaften zu Gute kommt) und es entstehen Steuereinnahmen für die Kommunen durch neue Firmen in der Energiebereitstellung.

Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

In diesem Abschnitt werden die drei größten finanziellen Posten der beiden Partner aufgeführt und kommentiert.

Biomassehof Achental

Die drei größten Budgetposten am Biomassehof Achental sind die Personalkosten (ca. 205.000 Euro), die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten inklusive Unteraufträgen für die Trocknungsversuche (ca. 41.000 Euro) und die F&E-Fremdleistungen in Form von Unteraufträgen (ca. 25.000 Euro).

Da die Untersuchungen und praktischen Umsetzungen der Optimierung sehr zeitaufwändig waren, ist die dominierende Stellung der Personalkosten erwartbar. Die Kosten für Unteraufträge sind im Wesentlichen ebenfalls Personalkosten und fielen für notwendige Untersuchungen an, die nicht am BAT durchgeführt werden konnten. Die Materialkosten wurden im Projekt so gering wie möglich

gehalten, da bereits viele der für die Analysen und Umsetzung notwendigen Gerätschaften vorhanden waren oder ausgeliehen werden konnten.

Agnion Operating GmbH bzw. agnion Energy GmbH

Die drei größten Budgetposten der Agnion Operating GmbH bzw. agnion Energy GmbH sind die F&E-Fremdleistungen im eigenen Haus (ca. 222.000 Euro), die Materialkosten (ca. 69.000 Euro) und die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten (ca. 23.000 Euro).

Der größte Teil der Fremdleistungen wurde für die Untersuchungen der alternativen Brennstoffe (Elementaranalysen, Pelletierung der Mischpellets, Untersuchungen im Technikum) aufgewendet. Da die Untersuchungen im Technikum von der agnion Highterm Research, einer 100 %igen Tochter der agnion Operating GmbH bzw. agnion Energy GmbH, durchgeführt wurden, bleibt der größte Teil der Wertschöpfungskette auch in Deutschland. Die Materialkosten beziehen sich auf durchgeführte Testbetriebe/Umbauarbeiten am Heatpipe-Reformer im Achental, um die im Projekt geforderten Untersuchungen durchführen zu können. Die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten beinhalten Kosten für diverse Teilnahmen an Kongressen, die Veranstaltung eines Fachforums in Grassau und Kosten für diverse Softwarelizenzen.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zum Zeitpunkt der Antragstellung waren zwei wesentliche Fragen in der Wertschöpfungskette von Energie aus Biomasse offen: wie kann erstens die Holzvergasung im mittleren Leistungsniveau effizient in dezentrale Strukturen eingefügt werden, und wie kann zweitens die Logistik und Aufbereitung der Brennstoffe in der geforderten Qualität zur richtigen Zeit für verschiedene Anlagen aus unterschiedlichen Rohstoffen, auch minderwertiger Qualität, gewährleistet werden? Dieses Projekt der „Optimierung regionaler Kreisläufe“ hat zur Beantwortung dieser beiden Fragen wichtige Aspekte beigetragen. Eine Auflistung der Ergebnisse findet sich bereits oben in „Detaillierte Ergebnisse“; hier wird nur noch auf die Relation zwischen Ergebnissen und aufgewandter Arbeit eingegangen.

Aufbereitung von Biomasse

Am Biomassehof Achental wurden mit zwei Personalstellen insgesamt 4.547 Arbeitsstunden geleistet. Die drei jeweils größten Positionen der beiden Stellen werden folgend erläutert.

In der **wissenschaftlichen Begleitung** nahm das Projektmanagement verhältnismäßig den meisten Raum ein. Dieses umfasst neben den Projekttreffen (mit Vor- und Nachbereitung) auch das Berichtswesen (Zwischenbericht, Schlussbericht), die Koordination der Arbeitspakete, die Kommunikation mit dem Zuwendungsgeber und die detaillierte Finanzplanung (Zwischennachweise, Beleglisten, Ausgaben in den einzelnen APs). Der zweitgrößte Posten war die Präsentation der Ergebnisse auf mehreren Tagungen (unter anderem Statuskonferenzen, siehe auch oben bei „Zusammenarbeit mit anderen Stellen“) mit der zugehörigen Vor- und Nachbereitung und die Kommunikation mit anderen Projekten. Die dritte, fast gleich große Position nimmt die Erprobung

und Umsetzung der optimierten Mobilisierung ein, welche neben den Trocknungsversuchen (eigene Durchführung in Grassau und Koordination des Unterauftrags in Berthelsdorf) auch Versuche in weiteren Schritten der Aufbereitung (Lagerung, Materialqualität, Mobilisierung, alternative Rohstoffe) umfasst.

Bei der **Technikerstelle** nahmen mit deutlichem Abstand die Umsetzung der optimierten Mobilisierung und die zugehörigen Versuche den meisten Raum ein. Dies ist zu erwarten, da die Untersuchung und Etablierung von neuen Bringungsketten mit der Einstellung an vielen Parametern verbunden ist. Insbesondere bei der Analyse von neuen Rohstoffen kann es in der Praxis einige Zeit in Anspruch nehmen, bis die Qualität der daraus produzierten Brennstoffe das gewünschte Niveau erreicht. Der dritte Posten schließlich ist die Zuarbeit zum Gesamtkonzept der Bringungsketten und dem Handbuch zur Aufbereitung von Biomasse, das auf mehrjährigem Erfahrungswissen aus der praktischen Aufbereitung von Biomasse zu normierbaren Brennstoffen basiert.

Es lässt sich allgemein festhalten, dass die Untersuchung einer optimierten Logistik und insbesondere das konstant erforderliche Qualitätsmanagement auch bei etablierten Bringungsketten eines erheblichen Zeitaufwandes bedürfen – in der Koordination und mehr noch in der tatsächlichen Umsetzung. Für die zahlreichen Fachbesucher des BAT (mehrere Tausend pro Jahr) ist daher die „Optimierung regionaler Kreisläufe“ ein idealer Startpunkt, um über die komplexe Aufbereitung von Biomasse informiert zu werden und diese auch zu replizieren.

Entwicklung und Einbindung des Heatpipe-Reformers

Alle Ergebnisse aus dem Achental sind sehr gut auf weitere Regionen übertragbar. Die Holzvergasung mit dem Heatpipe-Reformer und dessen Einbindung in bestehende Anlagen (Brennstoff-Beschickung und Wärmesenke bzw. SNG-Abnahme) ist wegen der modularen Bauweise ebenso für andere dezentrale Standorte geeignet. Derzeit plant agnion die Errichtung von weiteren Anlagen in Deutschland. Die in diesem Projekt durchgeführten Arbeiten stellen eine wesentliche Grundlage für die angestrebte Verbreitung der Technologie dar. Aus diesem Grund können die eingesetzten Projektmittel im Sinne eines Multiplikatoreffekts wirken. Die innerhalb des Projekts erzielten Fortschritte konnten nur durch den Einsatz der Fördermittel erreicht werden.

Nutzen und Verwendung der Ergebnisse

Wissenschaftliche Verwertung

Die wissenschaftlichen Ergebnisse aus dem Projekt wurden auf mehreren Tagungen und Konferenzen mit sehr großer Resonanz vorgestellt; siehe dazu die Auflistung unter „Zusammenarbeit mit anderen Stellen“.

Wirtschaftliche Verwertung

Die **Aufbereitung der Biomasse-Rohstoffe**, wie im Projekt untersucht, ist unmittelbar wirtschaftlich verwertbar. Sowohl für kleine Biomasseanlagen in Wohnhäusern als auch große Heizwerke und Zwischenstufen wie dem Heatpipe-Reformer sind Brennstoffe in der entsprechenden Qualität am Biomassehof Achental verfügbar. Das Know-how zur Aufbereitung ist somit vollständig im Achental

selbst vorhanden. Eine Erweiterung des Rohstoffspektrums (insbesondere auf Landschaftspflegematerial mit niedriger Qualität) ermöglicht es dem Biomassehof auch in Zukunft eine sichere Brennstoffversorgung für die Region zu gewährleisten. Die am BAT entstandenen Arbeitsplätze (derzeit 12 Stellen) sind ein deutliches positives Zeichen für das wirtschaftliche Potenzial der Bioenergie. Die solide Finanzsituation des Biomassehofs Achental zeigt außerdem, dass mit der Produktion und dem Handel von Brennstoffen in unterschiedlichen Qualitäten ein wirtschaftlich betriebenes Unternehmen aufgebaut und geführt werden kann. Entscheidend sind zwei Parameter: erstens das breite Spektrum von qualitativ sehr hochwertigen Produkten bis hin zur Massenware, die es erlaubt unterschiedliche Märkte und Anforderungen zu bedienen, und zweitens die Schließung einer Versorgungslücke durch den Biomassehof zwischen Anbietern von Biomasse und Kaufinteressenten. Die vorgestellten Bringungsketten können daher von anderen Biomassehöfen oder Logistikdienstleistern sofort umgesetzt werden, wenn die regionalen Voraussetzungen dafür (reiches Holzangebot und vorhandene Lücke in der Wertschöpfungskette) gegeben sind. Aber auch bestehende Anbieter können von den Erfahrungen mit der Qualitätssicherung im Achental profitieren. Das sehr rege Interesse von Fachbesuchern am Zusammenspiel der Anlagen mit mehreren Gruppen pro Woche aus dem In- und Ausland (Waldbesitzer, Förster, Brennstoffhändler, Heizkesselproduzenten, etc.) beweist dabei die Vorbildstellung des Achentals.

Die Ergebnisse aus dem Achental sind gut auf weitere Regionen übertragbar. Jeder Schritt der Brennstoff-Aufbereitung ist für sich leicht nachvollzuziehen und auch zu replizieren; einziges Kriterium ist also die Möglichkeit zur Mobilisierung ausreichender Chargen an Rohstoffen.

Die **Wirtschaftlichkeit des Heatpipe-Reformers** wurde durch das Projekt auch sehr positiv beeinflusst. Zunächst wurde im Zuge des Projektfortschritts die grundlegende Funktionsfähigkeit des Systems mit einer Feuerwärmeleistung von 1.300 kW gezeigt. Zudem zeigen die Projektergebnisse, dass unterschiedliche biogene Reststoffe, teilweise unter Zuhilfenahme geeigneter Additive (Kaolin) bei den Bedingungen im Heatpipe-Reformer vergast werden können ohne unerwünschte Veränderungen an der Wirbelschicht zu verursachen. Besonders letzteres beeinflusst die Wirtschaftlichkeit des Systems stark positiv. Viele Erkenntnisse aus dem im Laufe des Projekts durchgeführten Anlagenbetrieb führten zu Erkenntnissen, die in das Folgeprojekt in Auer (Südtirol) eingeflossen sind und insbesondere auch in die noch weiter zu errichtenden Anlagen eingehen werden. Die dabei umgesetzten Anlagen-Vereinfachungen tragen nicht unwesentlich dazu bei, die Anlagenkosten zu verringern und damit die Gesamtanlagenwirtschaftlichkeit zu verbessern.

Retrospektiv ist aber auch klar zu sagen, dass die erreichten Betriebsstunden nicht dem Gewünschten entsprechen. Die komplexe Anlagentechnik hat gerade am Beginn des Regelbetriebs mit Holzhackgut zu vielen Anlagenausfällen beigetragen.

Fortschritte bei anderen Stellen

In diesem Abschnitt werden die während der Projektlaufzeit an anderen Stellen erreichten Fortschritte dargestellt, die für dieses Vorhaben relevant waren.

Aufbereitung von Biomasse

In den beiden Projekten „Kopplung der stofflich/energetischen Nutzung von Biomasse“ (Förderkennzeichen 03KB006) und „Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz“ (Förderkennzeichen 03KB016) wurden jeweils die positiven Effekte einer kaskadenförmigen Nutzung von Holz untersucht. Sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch vorteilhaft ist es demnach, die hochwertigste Holzform (massives Stammholz) auch der hochwertigsten Nutzung (z.B. Bauholz in Häusern oder Möbelholz) zuzuführen, und nur das übrige Schwachholz bzw. das hochwertige Holz am Ende seiner Nutzungskaskade einer energetischen Nutzung zuzuführen.

Dem stimmen die Autoren am Biomassehof Achental voll und ganz zu. Denn während die beiden erwähnten Projekte die Effekte in einem größeren Zusammenhang untersuchen, wird die Nutzungskaskade im Achental bereits weitgehend umgesetzt. Die beiden Hauptrohstoffe am Biomassehof sind das Waldrestholz, das stofflich kaum nutzbar ist und sich ausschließlich aus Schwachholz von Durchforstung, Jungbestandspflege oder Ernte zusammensetzt (dabei aber die nährstoffreiche Krone im Wald belässt), und das Sägerestholz als nicht stofflich nutzbares Nebenprodukt der Sägeindustrie (Schwartlinge bzw. Rindenkappholz und Spreißel). Zusätzlich verwertet der Biomassehof Achental im Rahmen der gesetzlichen Richtlinien auch Holz, das zuvor stofflich genutzt wurde; dieses darf aber nur mechanisch behandelt worden sein. Im Laufe des Projekts nahmen auch die Mengen an Landschaftspflegematerial zu, die vom Biomassehof verarbeitet werden. Diese Holzchargen aus Straßenbegleitgrün, Baumschnitt, Auenpflege und ähnlichen Maßnahmen sind ebenfalls nicht stofflich verwertbar und stehen damit am Ende einer (einstufigen) Nutzungskaskade.

Somit trägt der Biomassehof zu einer Etablierung der Kaskadennutzung bei. Auch bei der Holzvergasung mit dem Heatpipe-Reformer ist die Verwendung von nicht verwertbaren Nebenprodukten minderwertiger Qualität ein zentrales Thema.

Holzvergasung

Die Erkenntnisse, die innerhalb des Projektzeitraums gewonnen wurden, sind bereits in den oben dargestellten Abschnitt des vorherigen wissenschaftlichen und technischen Standes eingebaut. Durch keine der angeführten Arbeiten wurde die Durchführung dieses Vorhabens in Frage gestellt oder das Ergebnis vorzeitig erreicht, da die Technologien jeweils zu unterschiedlich sind.

Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Ergebnisse aus dem Projekt (insbesondere das Handbuch aus AP 4 und der Schlussbericht) werden an mehreren Stellen veröffentlicht:

- Auf den Homepages der Firmen
    - http://www.biomassehof-achental.de/
    - http://www.agnion.de/

- Auf der Homepage des BMU-Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“
    - http://www.energetische-biomassenutzung.de/
    - Sowie der Unterseite des Projekts auf http://www.energetische-biomassenutzung.de/index.php?id=268
- Der Schlussbericht wird in der Technischen Informationsbibliothek Hannover (TIB) eingestellt (durch das Förderprogramm)
- Die Ergebnisse und der Schlussbericht werden von beiden Firmen auf Anfrage gerne herausgegeben
- Wissenschaftliche Publikationen: siehe Liste der Konferenzen oben

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AP	Arbeitspaket
BAT	Biomassehof Achental
BK	Brennkammer
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FWL	Feuerwärmeleistung
G	Stückigkeit (nach ÖNORM M7133)
IRH	Industrierestholz (Nebenprodukt der Holzindustrie; *hier*: ausschließlich mechanisch behandeltes Holz)
KUP	Kurzumtriebsplantage
LPM	Landschaftspflegematerial (*hier*: nur holziges Material)
MP	Messpunkt
ORK	Optimierung regionaler Kreisläufe
SRH	Sägerestholz (Nebenprodukt der Sägewerke, meist Schwartlinge)
TS	Trockensubstanz
W	Wassergehalt (als Prozent der organischen Trockenmasse)
WRH	Waldrestholz

Anlagen

Die folgenden Dokumente finden sich als Anlagen zu diesem Schlussbericht:

- Kurzfassung
- Erfolgskontrollbericht
- Zahlenmäßiger Verwendungsnachweis
- Prüfberichte 193960 und 194368 von ASG Analytik über chemische und physikalische Eigenschaften der Brennstoffe (zu AP 1.1)
- Teilbericht zur Brennstoffkompaktierung (zu AP 1.3); zweiteilig
- Gesamtkonzept zur optimierten Biomassemobilisierung in regionalen Wertschöpfungsketten (zu AP 1.4)
- Abschlussbericht: Trocknungsversuche für Holz-Hackschnitzel mit einem semi-kontinuierlichen Containertrockner (zu AP 1.2 und 3.1)
- Abschlussbericht über die Hackschnitzel-Trocknungsversuche am Biomassehof Oberlausitz (zu AP 1.2 und 3.1)
- Teilbericht zum Testbetrieb des Heatpipe-Reformers (zu AP 2.2 und 2.4)
- Teilbericht zur Installation der Kompaktierung und dem kontinuierlichen Anlagenbetrieb (zu AP 2.3 und 3.2)

- Einsatzstofftagebuch am Heatpipe-Reformer (zu AP 3.2)
- Bewertung der Anlageneffizienz (zu AP 3.3)
- Technisches Handbuch zum Betrieb des Heatpipe-Reformers (zu AP 4.1)
- Wirtschaftliches Handbuch zur Aufbereitung von biogenen Brennstoffen (zu AP 4.2)
- Untersuchung der Machbarkeit einer SNG-Erzeugung am Standort Grassau (zu AP 5.1)
- Untersuchung der Machbarkeit der Brennstoffbereitstellung für eine Holzvergasungsanlage in der Region Ostsachsen (zu AP 5.2)
- Machbarkeitsstudie zur Errichtung eines Holzvergasers in der Region Ostsachsen (zu AP 5.2)
- Machbarkeitsstudie zur Errichtung eines Holzvergasers im Industriegelände Dresden Albertstadt (zu AP 5.2)

Literatur

LWF 2003 http://www.lwf.bayern.de/publikationen/daten/wissen/p_33216.pdf (Zugriff am 05.09.2013)

LWF 2012a http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-merkblaetter/mb-11-hackschnitzel-lagern.pdf (Zugriff am 05.09.2013)

LWF 2012b http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-merkblaetter/mb10-waldhackschnitzel.pdf (Zugriff am 05.09.2013)

Kaltschmitt 2009 Kaltschmitt, Hartmann, Hofbauer: Energie aus Biomasse. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2009

Rauch 2002 Rauch, R. und Hofbauer, H.: *Zweibett-Wirbelschichtvergasung in Güssing (A) mit 2MWel/4,5MWth; Konzept, Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit.* Zürich : s.n., 2002. 7. Holzenergiesymposion; 18th October 2002; ETH Zürich, Switzerland.

Mühlen 2003 Mühlen, H.-J.: Verfahren zur Vergasung von organischen Stoffen und Stoffgemischen. EP 1 053 291 B1 09. 07 2003.

Bilder

In Abbildung 13 ist ein Flussdiagramm der Bringungsketten am Biomassehof Achental zu sehen.

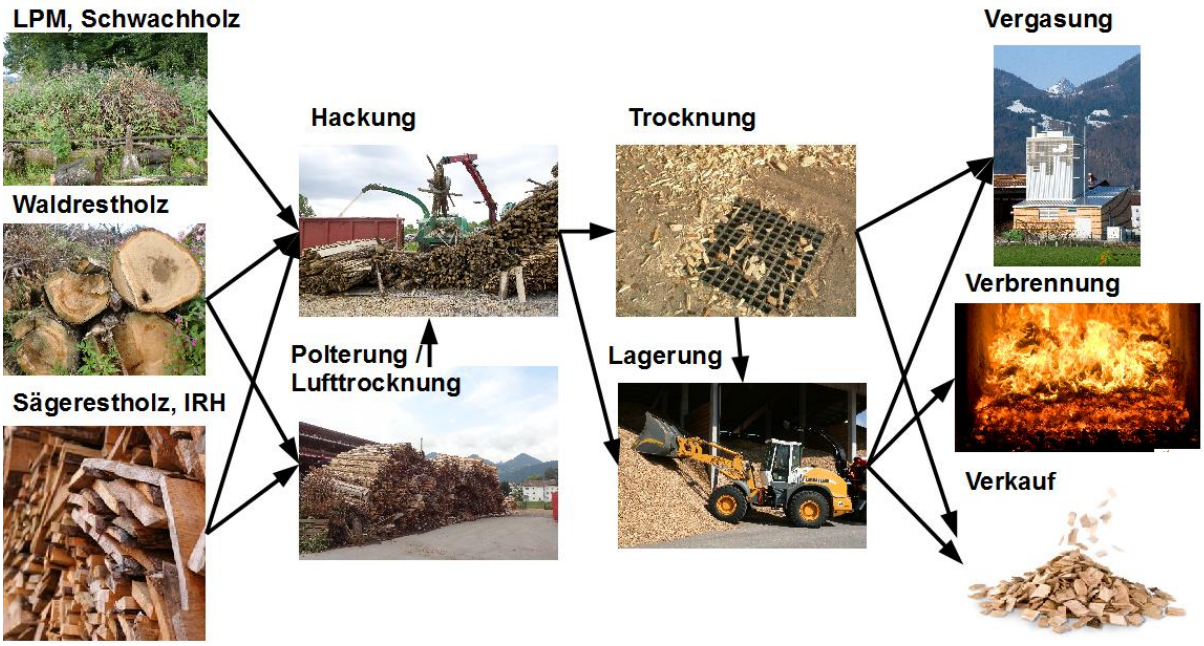

Abbildung 13: Aufbereitungswege für verschiedene Rohstoffe und Verwertungen am Biomassehof Achental