



Effizient, umweltverträglich, dezentral

Neue Konzepte für die Nutzung von
biogenen Festbrennstoffen

Teil 1



**Energetische
Biomassenutzung**



Energetische Biomassenutzung

Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms
„Energetische Biomassenutzung“

BAND 12

Effizient, umweltverträglich, dezentral – Neue Konzepte für die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen

Teil 1

Herausgegeben von

Daniela Thrän, Diana Pfeiffer

Gefördert vom



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Ein Förderprogramm der



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Koordiniert vom



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Wissenschaftlich
begleitet vom



Impressum

Herausgeber

Daniela Thrän, Diana Pfeiffer

Kontakt

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116

D-04347 Leipzig

Telefon: +49 (0)341 2434-554

Telefax: +49 (0)341 2434-133

E-Mail: diana.pfeiffer@dbfz.de

www.energetische-biomassenutzung.de

Geschäftsführung

Wissenschaftlicher Geschäftsführer:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles

Administrativer Geschäftsführer:

Dipl.-Kfm. (FH) LL.M. Daniel Mayer

Redaktion

Programmbegleitung des BMU-Förderprogramms

„Energetische Biomassenutzung“

www.energetische-biomassenutzung.de

Bildnachweis

Umschlag vorn: M. Dotzauer/DBFZ, Peter Franz/pixelio, Thinkabout/pixelio, Fraunhofer UMSICHT

Umschlag hinten: tutto62/pixelio, M. Dozauer/DBFZ, DBFZ, Gisela Peter/pixelio

Layout & Herstellung

Steffen Kronberg

Angela Gröber

Druck

Fischer Druck, Leipzig

Förderung

Erstellt mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums

für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit,

Berlin (BMU)

ISSN 2192-1806

© Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Druckerzeugnisses darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf anderen digitalen Datenträgern.

Alle Rechte vorbehalten.

© DBFZ 2013

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	7
Der Fraunhofer ISE-Vergasungsprozess zur Produktion eines teerfreien Synthesegases	8
Kombiniertes Mini-ORC- und Emissionsminderungskonzept für Biomassefeuerungen bis 1 MW_{th}	19
Biomass to Gas - Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie	32
Handlungsempfehlungen für kleine Holzvergasungsanlagen	44
Holzskadennutzung - Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergienutzung aus Holz	54
Bundemessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung	74
Steigerung der Energieeffizienz biogener Reststoffe - Thermische Verwertung	93
Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei Pellet-Kleinfeuerungsanlagen	105
Grünlandenergie Havelland - Die energetische Nutzung von Gras und Schilf	114
Thermische Verwertung von mechanisch entwässertem Biertreber	127



Foto: Diana Pfeiffer, DBZ

Einleitung

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

biogene Festbrennstoffe sind überall in der Welt das Rückgrat der Bioenergiebereitstellung - und damit auch eine Schlüsselgröße für die deutsche Energiewende.

Holz und Halmgut aus Wald und Schutzgebieten, vom Feld, von Parks und Straßenrändern, sowie vielfältige Reststoffe fallen vielerorts an und sind in ihren Eigenschaften so unterschiedlich wie das Wetter an zwei Tagen im April. Sie im Energiesystem von morgen effizient zu nutzen, erfordert intelligente Konzepte und Verfahren, die die Nachfrage nach biogener Wärme, Strom und Kraftstoffen dezentral bedienen können. Hier kann die Holzvergasung neue Möglichkeiten bieten; sie ist daher in der ersten Phase des vom Bundesumweltministerium geförderten Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ in vier verschiedenen Forschungsvorhaben unter die Lupe genommen worden.

Aber biogene Festbrennstoffe müssen – wie alle Bioenergieträger – auch die nachhaltige Rohstoffbereitstellung im Blick haben. Zum einen können neue Verwertungsmöglichkeiten bisher ungenutzter Reststoffströme erschlossen werden. So umfasst dieser Ergebnisband mit den Forschungen zur energetischen Nutzung von in Brauereien anfallendem Biertreber und auch von Landschaftspflegeheu im Havelland gleich zwei dezentrale und übertragbare Konzepte, denen weitere folgen werden. Zum anderen liegen weitreichende Möglichkeiten und Chancen in der Kaskadennutzung von Biomasse. So untersucht ein Vorhaben im Speziellen die Holzkaskadennutzung: Der mehrmaligen stofflichen Nutzung des Holzes folgt die energetische, so dass in Zukunft biogene Festbrennstoffe effizient und umweltverträglich eingesetzt werden.

Dieser Ergebnisband bietet Ihnen, liebe Leser, einen Einblick in die Betriebserfahrungen von Holzvergasungsanlagen und ihre komplexe Prozesstechnik, sowie in verschiedene nachhaltige Nutzungskonzepte von Festbrennstoffen. Ich wünsche eine informative Lektüre und viele neue Erkenntnisse!



Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän

Projektleiterin der Programmbegleitung des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“,
Bereichsleiterin „Bioenergiesysteme“ am DBFZ,
Professorin für Bioenergiesysteme an der Universität Leipzig





Der Fraunhofer ISE-Vergasungsprozess zur Produktion eines teerfreien Synthesegases

Luisa Burhenne, Christian Lintner, Thomas Aicher

Vorhaben: Biomassevergasung zur Erzeugung teerfreien Synthesegases (BioSyn)

FKZ-Nr.: 03KB003

Laufzeit: 01.04.2009 - 31.03.2012

Zuwendungssumme: 1.048.280 €

Koordination:

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE
Heidenhofstr. 2
79110 Freiburg
www.ise.fraunhofer.de

Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/749770295.pdf>

Kontakt:

Dr.-Ing. Thomas Aicher
Telefon: +49 (0) 761 4588-5194
E-Mail: thomas.aicher@ise.fraunhofer.de



Thomas Aicher (Projektleiter):

Teer ist immer noch eine der größten Hürden bei der Biomassevergasung im kleinen Leistungsbereich. Wir haben uns dieser Herausforderung gestellt und einen neuen Vergasungsprozess zur Gewinnung eines teerfreien Produktgases entwickelt, bei dem die Teere im Prozess energetisch genutzt werden.

Zusammenfassung

Ein neuartiges Festbett-Vergasungsverfahren für Biomasse („Fraunhofer ISE BioSyn-Vergaser“) zur Produktion eines teerfreien Synthesegases wurde entwickelt und am Fraunhofer ISE aufgebaut. Das Verfahren besteht aus vier Zonen und zwar der Vergasung, der Teilverbrennung, dem Cracken und einer Reduktions-/Oxidations- (Redox-) Zone. Diese Zonen sind durch bewegliche Roste getrennt, um die Verweilzeit der Biomasse in jedem Schritt kontrollieren zu können. Das thermische Cracken aller höheren Kohlenwasserstoffe und Teere wird durch Temperaturen in der Crackzone von bis zu 1.000 °C erreicht, welche durch eine Teilverbrennung des Rohgases gewährleistet wird. Zudem wirkt die Kohle in der Crackzone katalytisch. Um den Heizwert des Produktgases und somit die Effizienz des Gesamtprozesses zu erhöhen, wird der gesamte Kohlenstoff oxidiert und CO aus der Reduktionszone mit dem Produktgas vermischt. Das hergestellte Gas wird für eine kombinierte Wärme- und Stromproduktion (CHP) mit einem Gasmotor benutzt.

Zur Demonstration der Umsetzbarkeit des Verfahrens wurde eine Pilotanlage mit 50 kW_{FWL (Biomasse)} konstruiert, in Betrieb genommen und mit Holzpellets getestet. Der Vergaser produzierte ein brennbares Gas mit einem Heizwert von 5,7 MJ/m³ und CO-, H₂- und CH₄-Konzentrationen von 26, 15 bzw. 2 %. Im laufenden Betrieb konnte ein Teergehalt unter 30 mg/Nm³ erreicht werden. Die Ergebnisse ließen auf einen bedeutenden Effekt der Temperatur und der Betthöhe in der Crackzone auf die Reduktion der CH₄-Konzentration schließen, was in Verbindung mit der Verminderung des Teergehalts im Produktgas steht. Nachdem die optimalen Vergasungsparameter für einen Betrieb mit Holzpellets bekannt waren, wurden andere Biomassen wie Kohle aus der hydrothermalen Carbonisierung (HTC) getestet.

Einleitung

Biomassevergasung ist eine der vielversprechendsten erneuerbaren und CO₂-neutralen Technologien zur Produktion von Synthesegas. Für die Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasmotoren im kleinen Maßstab hat die Festbettvergasung den Vorteil einer höheren Umsetzungseffizienz mit einem signifikant niedrigeren Teergehalt im Produktgas (Martínez et al. 2011). Das Prinzip der gestuften Vergasung ist gut bekannt und dokumentiert (Lettner 2007, Henriksena et al. 2006). In den meisten Verfahren finden die Pyrolyse- und Holzkohlevergasungsschritte in zwei getrennten Reaktoren statt, was eine unabhängige Kontrolle der Hauptreaktionen ermöglicht. In den letzten Jahren wurden diese Festbettvergaser in Bezug auf eine reduzierte Teerproduktion und eine höhere Effizienz optimiert (Anisa et al. 2011). Allerdings wird selten eine akkurate Messung aller Verfahrensströme durchgeführt und die veröffentlichten Teergehalte hängen stark von dem verwendeten Gasmesssystem ab. Ein standardisiertes und robustes Probe- und Analyseverfahren ist notwendig, um die Produktgasqualität zu untersuchen. In industriellen Verfahren basiert die Kontrolle und Optimierung oft auf dem Know-how des Konstrukteurs, anstatt auf Produktanalysen und dem Verständnis der beteiligten Mechanismen (Van de Steene et al. 2010). Die Verunreinigung des Produktgases mit Teer ist immer noch eine der größten Herausforderungen für eine erfolgreiche Markteinführung dieser Technologie.

Aus diesem Grund ist eine Verbesserung der Produktgasqualität in Bezug auf die Teerreduktion, -kontrolle und -messung weiterhin notwendig, um den verlässlichen Betrieb aller Biomassevergasungsanlagen zu gewährleisten.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), wurde ein neuartiges Biomassevergasungsverfahren zur Produktion eines teerfreien Synthesegases entwickelt. Das Ziel dieses Verfahrens war es, ein mehrstufiges Reaktorsystem zu entwickeln, genannt „Fraunhofer ISE BioSyn-Vergaser“, in dem die einzelnen Umwandlungsstufen, wie Pyrolyse, Vergasung und Teercracking, sowie Reduktion und Oxidation, getrennt sind, um jede einzelne Stufe kontrollieren zu können.

Die Grundidee hinter diesem Forschungsprojekt war es einen Vergasungsprozess zu entwickeln, der ohne nachgeschaltete Maßnahmen ein teerfreies Synthesegas liefert. Folglich ist keine kostspielige Gaswäsche nötig, sondern nur ein Heißgasfilter der auch Teil aller konkurrierenden „Standardvergasungstechnologien“ ist. Die Methode der Teerentfernung innerhalb des Prozesses ist eine geschützte Idee, für die das Fraunhofer ISE ein Patent besitzt (DE 10 2004 024672 B4). Ab einer Leistung von 200-300 kW_{LHV(Biomasse)} können mit dem Fraunhofer ISE BioSyn-Verfahren ökonomisch vielversprechende Anlagen realisiert werden.

Das experimentelle Vorgehen bestand darin, zuerst die Realisierbarkeit des Biosyn-Verfahrens in Laborexperimenten zu demonstrieren und später eine Pilotanlage im technischen Maßstab zu konstruieren und zu bauen. In einem letzten Schritt wurde die Anlage für Holzpellets optimiert.

Das Fraunhofer ISE-BioSyn-Verfahren

Das Fraunhofer ISE BioSyn-Verfahren basiert auf dem Wamslers Thermoprozessor, einem mehrstufigen Gleichstrom-Vergaser, getestet im Energieressourcen-Institut e.V. Cottbus. Der größte Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die verschiedenen Umwandlungsstufen, wie Pyrolyse, Vergasung und Teercracking getrennt voneinander von oben nach unten angeordnet sind.

Das Fraunhofer ISE BioSyn Vergasungsverfahren basiert zwar auf diesem Prozess, aber es wurden wichtige Veränderungen vorgenommen, wie die Teilverbrennung und eine zusätzliche Reduktions-/Oxidationsstufe.

In Abbildung 1 ist der Vergaser dargestellt, das Verfahren wird im Anschluss erklärt.

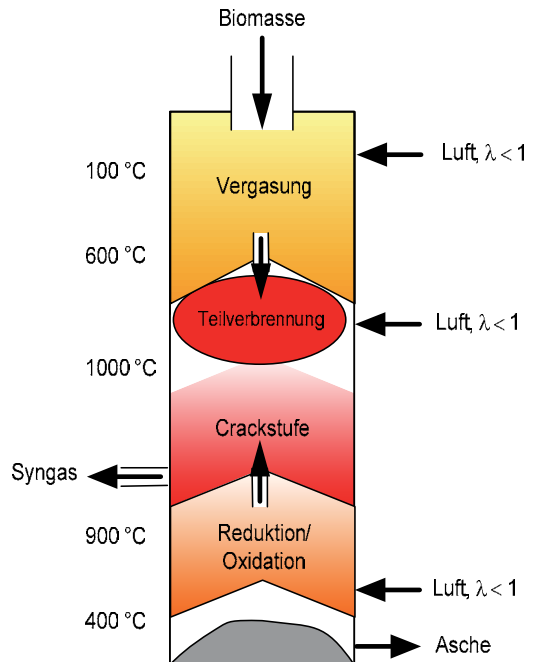


Abbildung 1: Prozessflussbild des Fraunhofer ISE-Vergasers

In der ersten Zone, der Vergasungszone, erfolgt die Festbettvergasung auf einem beweglichen Rost. In dieser Zone entsteht ein teerhaltiges Rohgas. Dieses strömt abwärts durch ein heißes Bett aus pyrolysiertem Material, an welchem das primäre Cracken stattfindet. Anschließend fließt das Gas in die zweite Zone, wo es teilverbrannt wird. Die Teilverbrennung des Rohgases bewirkt eine Temperaturerhöhung auf etwa 1.000 °C. Nach der Temperaturerhöhung passiert das Rohgas die Crackzone, die mit Kohle aus der Vergasungszone gefüllt ist. Die hohen Temperaturen ermöglichen thermisches und katalytisches Cracken von Teeren ohne zusätzlichen Katalysator. Es ist wichtig, dass die Crackzone ausreichend hoch ist, um lange Verweilzeiten zu garantieren und dadurch die komplette Umwandlung der Teere sicherzustellen. Der letzte Schritt ist die Reduktionszone, die von der Crackzone getrennt ist.

In der Reduktionszone werden alle verbliebenen brennbaren Feststoffe in ein Kohlenmonoxidreiches Gas umgewandelt. In dieser Zone wird außerdem versucht, durch vollständige Umsetzung des restlichen Kohlenstoffs, den kompletten Heizwert des Brennstoffs zu nutzen. Dadurch können Kohlenstoffrückstände in der Asche unter 5 % gehalten werden. Das Produktgas soll einen Teergehalt von weniger als 50 mg/Nm³ aufweisen. In dieser Veröffentlichung werden alle Kohlenwasserstoffe mit einem größeren Molekulargewicht als Benzen als Teere definiert.

Die Pilotanlage

Um das Fraunhofer ISE BioSyn-Verfahren zu erproben wurde eine Pilotanlage im technischen Maßstab für einen Brennstoffeintrag von 50 kW_{LHV(Biomasse)} entworfen. Dies entspricht einem Holzmassenstrom von etwa 10 kg/h. Das technische Ziel des geplanten Verfahrens war es, einen Heizwert für trockenes Syngas von 6-12 MJ/Nm³ zu erreichen, mit einem H₂- und CO-Gehalt von 12-18 Vol.-% bzw. 22-28 Vol.-%. Es wird eine Kaltgaseffizienz (=chemische Energie des Produktgases geteilt durch die chemische Energie des Brennstoffs) von bis zu 75 % erwartet. Im Vergleich mit bestehenden Anlagen ist dies eine erhebliche Verbesserung.

Die Anlage besteht aus diversen Komponenten, welche in Abbildung 2 dargestellt und nachstehend beschrieben sind. Alle Anlagenteile sind bewährt und entsprechen dem aktuellen Stand der Technik.

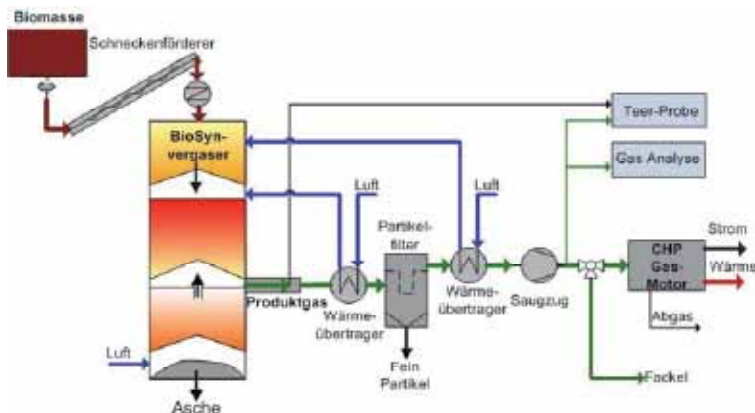


Abbildung 2: Prozessflussbild der Pilotanlage im technischen Maßstab

Der Fraunhofer ISE-BioSyn-Reaktor und die Gasaufbereitung

Der Fraunhofer ISE BioSyn-Reaktor besteht aus einem hitzebeständigen Rohr, hergestellt aus 1.4828 Edelstahl, das innen mit einer Schicht aus Keramikfasern isoliert ist, welche von einem Innenlayer geschützt wird, um mechanische Abnutzung zu verhindern. Das Reaktorrohr ist zusätzlich von außen mit Steinwolle gedämmt. Die absolute Höhe beträgt 4.500 mm, der Außendurchmesser 323,9 mm und der Innendurchmesser 227,9 mm. Das Rohr ist in vier Zonen unterteilt, die durch bewegliche Roste getrennt sind, um die Biomasse in jeder Zone zu halten (Abbildung 3). Die Pendelfrequenz der beweglichen Roste ist über einen elektrischen Motor unabhängig voneinander kontrollierbar, zur Regulierung der Betthöhen und der Verweilzeiten der Biomasse in jeder Zone.

Die Biomasse gelangt über einen Schneckenförderer und eine Zellradschleuse am oberen Ende des Reaktors in die erste Zone, die Vergasungszone. Dieses Eintragssystem ermöglicht eine Trennung der Umgebungsluft von der Reaktorkammer sowie eine kontrollierbare Biomasseeinspeisung zwischen 2 und 20 kg/h über die Drehfrequenz des Schneckenförderers. In die Vergasungszone wird über eine Düse gleichmäßig Luft in der Mitte der Zone eingeblasen. Dadurch wird Wärme für die endothermen Trocknungs-, Erhitzungs- und Pyrolyseprozesse bereitgestellt. In dieser Zone werden 75 Gew.-% der eingesetzten Biomasse in Gas umgewandelt und bilden ein teerreiches Rohgas.

Das Rohgas fließt im Gleichstrom abwärts durch die heiße Zone der glühenden Kohle, in die Teilverbrennungszone. Hier wird das Rohgas teiloxidiert, um die Temperatur auf 1.000 °C zu erhöhen und dadurch das thermische Cracken der langkettigen Kohlenwasserstoffe und Aromaten zu ermöglichen. Durch die Bewegung des ersten beweglichen Rosts fällt die in der Vergasungszone entstandene Kohle in die nächste Zone, die Crackzone. Aufgrund des katalytischen Effekts, der nicht komplett umgewandelten Kohle aus der ersten Zone werden die Teere zu permanenten Gasen gecrackt.

Die restliche Kohle gelangt in die letzte Zone und wird einer partiellen Oxidation unterzogen. Es entsteht über das Boudouard-Gleichgewicht CO. Die Menge wird über die Sauerstoffzufuhr zu dieser Zone kontrolliert. Das CO-reiche Gas aus der Reduktionszone wird mit den heißen Permanentgasen in der Crackzone vermischt. Zusammen bilden sie das Produktgas, das sogenannte Syngas. Das teerfreie Syngas wird aus der Crackzone mit einem Saugzug abgezogen, weshalb der absolute Reaktordruck leicht unter dem Atmosphärendruck liegt.



Abbildung 3: Links: drei Reaktorschichten; Rechts: beweglicher Pendelrost

Das heiße Syngas verlässt den Reaktor mit einer Temperatur von etwa 900 °C. Zwei Wärmeüberträger werden installiert, um die Verfahrensluft vorzuheizen und das Produktgas auf eine Temperatur von 450 °C zu kühlen bevor es in das Gasreinigungssystem gelangt. Das Gasreinigungssystem besteht nur aus einem Keramikpartikelfilter. Die Filtereinsätze sind mit Kalkstein vorbeschichtet und werden mit Stickstoffdrucksten gereinigt. Das gefilterte Gas kann direkt nach dem Abkühlen in den eingebauten Verbrennungsmotor eingespeist werden. Während des An- und Abfahrens der Anlage wird das Gas in einer Fackel verbrannt. Abbildung 4 zeigt ein Foto des BioSyn-Reaktors (rechts) und des Heigasfilters (links).

Verfahrenskontrolle und Analyse

Das Verfahren wird über die LabVIEW-Software (National Instruments) berwacht und kontrolliert. Als Schnittstelle zwischen der LabVIEW-Software und allen kontrollierbaren Anlagenkomponenten fungieren A/D-Wandler. Die Anlage ist mit 25 Temperatursensoren ausgerüstet, von denen zwölf im Reaktor installiert sind, um die Temperatur in den verschiedenen Zonen zu überwachen. Die Temperaturen werden kontrolliert, indem der Luftstrom in jeder Zone mittels Massenflussmesser eingestellt wird. Der Reaktordruck wird über verschiedene Druckmesser überwacht. Um den Unterdruck im Reaktor sicherzustellen, kontrolliert ein eingebauter PID-Regler den Druck in der ersten Zone über die variable Saugfrequenz. Der Biomassefllstand in jeder Zone wird mit Hilfe von Drehflügel-Fllstandssonden überwacht.



Abbildung 4: Fraunhofer ISE BioSyn-Vergasungsanlage im technischen Maßstab, ohne Isolierung

Das produzierte Syngas und alle Kondensate werden in verschiedenen Phasen analysiert. Die Volumenanteile an CO , CO_2 , CH_4 , H_2 and O_2 werden online mit einer mobilen Gasanalyse gemessen. Der Benzengehalt des Gases wird mit einem Mikro-Gaschromatographen überprüft. Alle anderen Stoffe werden in verschiedenen Stufen des Verfahrens mit einer eigens dafür entwickelten Entnahmeeinheit entnommen und dann in einem Gaschromatographen, gekoppelt mit einem Massenspektrometer analysiert (GC/MS). Die Entnahmeeinheit wurde angelehnt an die Tar-Guideline DIN CEN/TS 15439 entwickelt. In Abbildung 5 ist ein Schema der Entnahmeeinheit dargestellt.

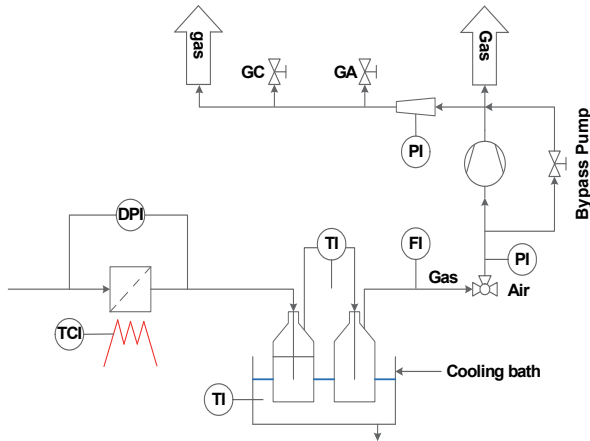


Abbildung 5: Fließbild der Entnahmeeinheit

Betrieb der Anlage

Nach der erfolgreichen Installation wurde die Anlage mehrfach mit Holzkohle gestartet, um das Anfahren und Herunterfahren der Anlage zu optimieren und angemessene Parameter für einen Dauerbetrieb zu finden. Der Reaktor wurde mit vorgeheizter Luft aus einem elektrischen Heißebläser, der in die Vergasungszone führt, angefahren. Um Teerbildung während des Anfahrens zu verhindern wurde Kohle oder Holzkohle aus vorhergehenden Versuchen genutzt, bis die Temperatur in der Crackzone 900 °C erreichte. Bei einem Kaltstart dauerte dies etwa vier Stunden, bis die Anlage für den Dauerbetrieb bereit war.

Für die ersten Dauerbetriebstests wurden Holzpellets ausgewählt, da diese einen wohldefinierten, einfach zu handhabenden und gut verstandenen Brennstoff darstellen. Obwohl die vorhandene Fraunhofer ISE BioSyn-Anlage für eine Holz-Durchflussmenge von etwa 10 kg/h ausgelegt ist, wurde die Zufuhr auf 14 kg/h erhöht. Die Luftströme wurden so angepasst, dass die Temperatur nicht über 800 °C in der Vergasungs-, 1.000 °C in der Crack- und 1.000 °C in der Reduktionszone stieg. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Roste und damit der Durchsatz an Biomasse wurde manuell in Abhängigkeit von den Füllstandssonden geregelt. Die Crackzone wurde so voll wie möglich gehalten, um eine möglichst lange Kontaktzeit des Rohgases mit dem Kohlenstoff sicherzustellen.

Mehrere zwölfstündige Betriebsphasen wurden durchgeführt, bevor mit 60-stündigen Messkampagnen mit Holzpellets begonnen wurde. Die Fraunhofer ISE-Anlage wurde insgesamt mehr als 500 Stunden betrieben.

Ergebnisse und Diskussion

Nach der erfolgreichen Installation der Anlage wurden erste Versuche mit Holzpellets durchgeführt. Ein Beispiel für einen typischen Testlauf mit Holzpellets ist in Abbildung 6 dargestellt. Das Ziel dieses Testlaufs war es, Prozessparameter für eine komplette Umwandlung

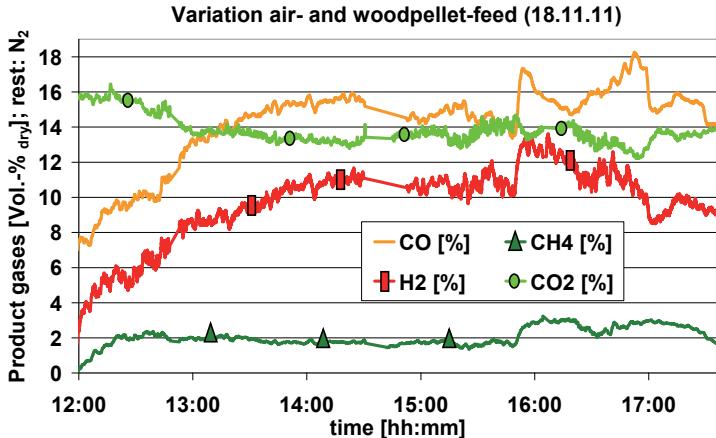


Abbildung 6: Zusammensetzung des trockenen Produktgases beim Anfahren mit Holzpellets

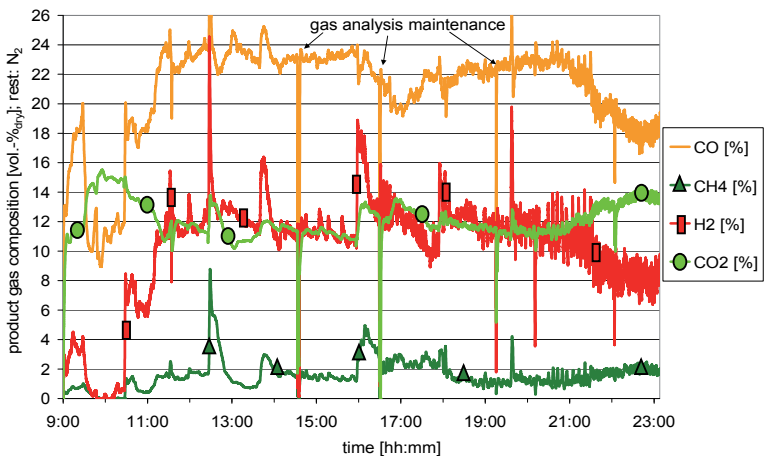


Abbildung 7: Zusammensetzung des trockenen Produktgases vom 15.02.2012. Betrieb mit Holzpellets bei einer Pelletzufuhr von 12 kg/h (LHV von 60 kW)

des Ausgangsmaterials, minimale Teerkonzentration im Syngas und dadurch eine optimale Verfahrenseffizienz zu finden. Der Vergaser wurde bei 20 °C um 8:51 Uhr bis 9:22 Uhr mit vorgeheizter Luft gestartet. Aufgrund häufiger Variation der Parameter ist der in Abbildung 6 dargestellte Prozess noch nicht sehr stabil. Die variierten Parameter waren der Luftstrom in die Vergasungszone, die Crackzone und die Redoxzone sowie die Verweilzeit der Biomasse oder Kohle in diesen Zonen, kontrolliert über die Drehfrequenz der Pendelroste.

In Abbildung 7 ist die Gaszusammensetzung bei einem typischen 12-Stunden-Betrieb mit Anfahren um 9:00 Uhr und Herunterfahren um 21:00 Uhr dargestellt. Die Schwankungen entsprechen den Schwankungen des Biomasseeintrags. Größere Änderungen in der Gaszusammensetzung beruhen auf Filterabreinigungen oder Gasanalysen/Wartung. Die Temperaturen in der Vergasungszone lagen zwischen 600 °C und 800 °C und die maximale Cracktemperatur lag bei 1.100 °C. Das Synthesegas hatte am Austritt des Reaktors eine Temperatur von 900 °C.

Während einem 60-stündigen Betrieb (Abbildung 8) wurden mehrfach Teerproben aus dem Syngas direkt am Reaktorausgang genommen. Um den Einfluss der Temperatur in der Crackzone auf die Teermenge im Syngas zu veranschaulichen, sind in Abbildung 9 zwei Teerproben dargestellt. Die erste Probe wurde um 19:10 Uhr genommen. Um diese Zeit lagen die Temperaturen in der Crackzone bei etwa 800 °C. Der Teer bestand vor allem aus Naphthalin, Toluol und Benzen. Auf Grund der relativ niedrigen Cracktemperatur lag die absolute Teerkonzentration im Syngas noch bei 128 mg/Nm³ bzw., die Gesamtkonzentration an Kohlenwasserstoffen inklusive Benzol bei 917 mg/Nm³. Folglich war der Teergehalt noch zu hoch um den CHP-Motor zu betreiben. Die zweite Teerprobe wurde bei einer Cracktemperatur von 900 °C entnommen. Wie in Abbildung 9 zu sehen, hat die Teermenge deutlich abgenommen und liegt bei 33 mg/Nm³ bzw. 368 mg/Nm³ mit Benzol eingerechnet. Gemäß diesen exemplarischen Teerproben kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Temperatur in der Crackzone einen signifikanten Einfluss auf die Teerkonzentration im Syngas hat.

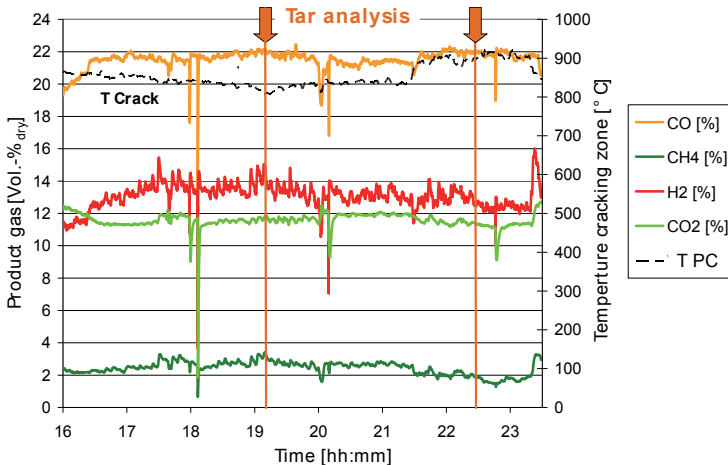


Abbildung 8: Zusammensetzung des trockenen Produktgases und Temperatur in der Crackzone (T crack) vom 28.02.2012. Betrieb mit Holzpellets bei einer Zufuhr von 12 kg/h. Teerproben wurden um 19:10 Uhr und um 22:30 Uhr genommen.

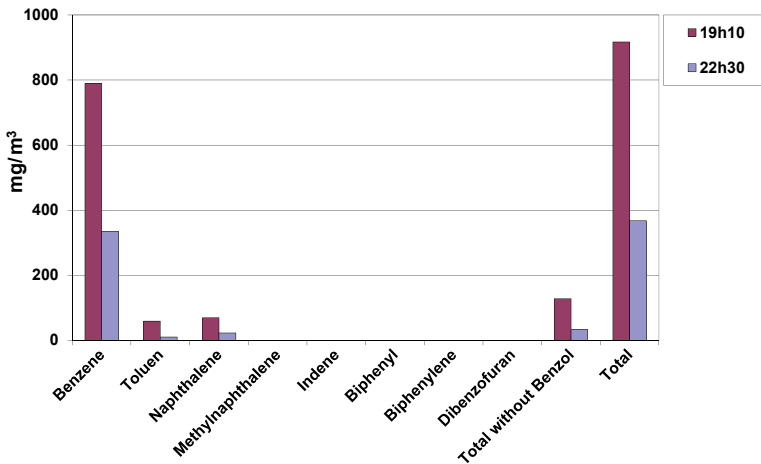


Abbildung 9: Teermenge und Zusammensetzung von zwei Proben aus dem Betrieb mit Holzpellets. Probenentnahme um 19:10 Uhr bei 800 °C in der Crackzone und um 22:30 Uhr bei 900 °C in der Crackzone

Während dem Anlagenbetrieb konnte des Weiteren festgestellt werden, dass neben der Temperatur auch die Betthöhe in der Crackzone einen maßgeblichen Einfluss auf die Teerreduktion hat. Je höher das Holzkohlebett ist, desto länger ist die Verweildauer des Rohgases wodurch mehr kondensierbare Komponenten zu permanenten Gasen gecrackt werden. Allerdings hängt die optimale Betthöhe stark von der Zusammensetzung der Kohle, ihrer Struktur und somit von der eingesetzten Biomasse und den Betriebsbedingungen in der Vergasungszone ab. Um die optimalen Betthöhen für jede eingesetzte Biomasse zu ermitteln sind weiterführende Forschungen erforderlich.

Fazit und Ausblick

Es wurde ein neuartiger Biomasse-Vergasungsprozess, genannt „Fraunhofer ISE-BioSyn-Prozess“, zur Produktion eines teerfreien Synthesegases entwickelt und in einer Pilotanlage vorgestellt.

Nach Abschluss des geförderten BioSyn-Projekts wurde technisches Fachwissen in Bezug auf Teerreduktion während der Vergasung von Holzpellets gewonnen. Während des Betriebs wurden Teerkonzentrationen unter 50 mg/Nm³ erreicht. Basierend auf den Erfahrungen mit dem Betrieb mit Holzpellets ist geplant mit weiteren Biomassetypen Versuche durchzuführen, zum Beispiel mit Abfallbiomasse oder Kohle aus einem Hydrothermalen Carbonisierungsprozess (HTC) und auch mit schnellwachsenden Energiepflanzen, welche in anderen Teilen der Welt verfügbar sind.

Danksagungen

Die Autoren danken allen Studenten und Kollegen für ihre Hilfe und Unterstützung. Dieses Projekt wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen der deutschen Klimainitiative gefördert und vom DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH begleitet.

Literaturverzeichnis

Burhenne, L.; Rochlitz, L.; Lintner, C.; Aicher, T.: Technical demonstration of the novel Fraunhofer ISE biomass gasification process for the production of a tar-free synthesis gas. In: *Fuel Processing Technology* 106 (2013), S. 751-760.

Anisa, S.; Zainala, Z. A.: Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011), S. 2355-2377.

Henriksena, U.; Ahrenfeldt, J.; Jensen, T. K.; Gøbel, B.; Bentzen, J. D.; Hinds-gaul, K.; Sørensen, L. H.: The design, construction and operation of a 75 kW two-stage gasifier. In: *Energy* 31 (2006), S. 1542-1553.

Lettner, F.; Haselbacher, P.; Timmerer, H.; Leitner, P.; Suyitno-Rasch, B.: Latest Results of CleansGas – Clean Staged Biomass Gasification CHP, Proceedings 15th European Biomass Conference and Exhibition, 7-11 May 2007, Berlin, Germany.

Martínez, J. D.; Silva Lora, E. E.; Andrade, R. V.; Jaén, R. L.: Experimental study on biomass gasification in a double air stage downdraft reactor. *Biomass & Bioenergy* 35 (2011), S. 3465-3480.

Van de Steene, L.; Tagutchou, J.P.; Mermoud, F.; Martin, E.; Salvador, S.: A new experimental Continuous Fixed Bed Reactor to characterize wood char gasification. In: *Fuel* 89 (2010), S. 3320-3329.



Kombiniertes Mini-ORC- und Emissionsminderungskonzept für Biomassefeuerungen bis 1 MW_{th}

Wilhelm Althaus, Johannes Grob, Esther Stahl

Vorhaben: Kombiniertes Mini-ORC- und Emissionsminderungskonzept für Biomassefeuerungen bis 1 MW_{th}

FKZ-Nr.: 03KB009

Laufzeit: 01.03.2009 – 31.08.2011

Zuwendungssumme: 399.484 €

Koordination:

Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Osterfelder Straße 3; 46047 Oberhausen

www.umsicht.fraunhofer.de

Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/731544749.pdf>

Kontakt:

Dr.-Ing. Wilhelm Althaus (Projektleiter)

Dr.-Ing. Esther Stahl (Koordination)

Telefon: +49 (0)208 8598 1158

E-Mail: esther.stahl@umsicht.fraunhofer.de



**Esther Stahl
(Projektkoordinatorin):**

Aus Holz oder anderen Festbrennstoffen im kleinen und mittleren Leistungsbereich nicht nur Wärme sondern auch Strom zu machen ist eine Herausforderung, der wir uns mit diesem Projekt gestellt haben. Aktuell zeigt sich, dass wir auf einem guten Weg sind.

Zusammenfassung

Die abschließende Prozesskonzeption als Endergebnis dieser Arbeit besteht aus einem Hochtemperatur-ORC-Prozesses, der durch eine Biomassefeuerung im Leistungsbereich von ca. $950 \text{ kW}_{\text{th}}$ beheizt werden soll. Diese liefert staubbeladenes Rauchgas mit ca. 850 bis $950 \text{ }^\circ\text{C}$. Zur Grobentstaubung soll ein Hochtemperaturzyklon eingesetzt werden. Über eine Abgasrezirkulation wird ein für den ORC-Verdampfer verträgliche Abgasmischtemperatur von ca. 500 bis $650 \text{ }^\circ\text{C}$ eingestellt. Limitierend ist hierbei einerseits die für die in Frage kommenden ORC-Arbeitsmedien zulässige maximale Wandtemperatur im ORC-Verdampfer von etwa $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Liegen die Wandtemperaturen darüber, dann sind die Zersetzungsraten des Arbeitsfluides zu hoch, um einen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Betrieb zu ermöglichen. Zur Feinentstaubung wird der Einsatz von Metallgeweben oder konventionell verfügbaren Faserfiltern auf der Kaltgasseite vorgeschlagen. Optional kann ein Abgaswäscher eingesetzt werden, der im Rahmen der Projektarbeit entwickelt und erprobt wurde. Hier ist zusätzlich eine Wärmeauskopplung von ca. 5% der Nennwärmeleistung denkbar.

Hintergrund und Zielstellung

Die regionale Nutzung von Biomasse zur Wärmeerzeugung ist etabliert und leistet bereits einen wichtigen Beitrag zur CO_2 -neutralen Wärmeversorgung. Ein weiterer wesentlicher Schritt zur Substitution fossiler Energieträger ist die Erzeugung von elektrischer Energie mit Biomasse. Kleine Kraft-Wärme-Konzepte ($\leq 1 \text{ MW}_{\text{th}}$) auf Basis eines Organic-Rankine-Cycle (ORC) in Kombination mit der Biomasseverbrennung sind jedoch noch nicht marktverfügbar, da bislang wesentliche Fragestellungen zum Down-Scaling der Stromerzeugung und zur Wärmeübertragung im Rauchgas nicht beantwortet werden konnten.

Ziel des Projekts war daher die Konzipierung einer biomassebefeuelten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit wirkungsvoller Emissionsminderung im Leistungsbereich bis $1.000 \text{ kW}_{\text{th}}$. Die Stromerzeugung soll dabei mit Hilfe der ORC-Technologie erfolgen. Dem ORC-Prozess soll eine Abgasreinigung mit gleichzeitiger Restwärmenutzung nachgeschaltet werden, so dass ein innovatives Gesamtkonzept für die regionale Wärme- und Stromerzeugung entsteht.

Die bei Fraunhofer UMSICHT & Dürr Cyplan derzeit entwickelte Hochtemperatur-ORC-Technologie (Ziel: Leistungsbereich 30 - $120 \text{ kW}_{\text{el}}$ aus der Abgaswärme von Biogasmotoren) eignet sich prinzipiell auch für kleine und mittlere Biomassefeuerungsanlagen. Wesentliche Fragestellungen sind hier die Integration des ORC-Moduls in die Feuerung, die Gestaltung der Wärmeübertragerflächen und die Wärmeauskopplung für Heizzwecke. Die Effizienz des Systems kann durch eine Staubvorabscheidung und damit Vermeidung von zu schnellem Wärmetauscher-Fouling dauerhaft erhalten werden. Dies senkt Investitionskosten und Betriebskosten. Verfahren zur Vermeidung von Fouling (z. B. Heißgasfiltration, Druckpulsation) waren daher u. a. Arbeitsgegenstand des Projekts. Nach dem ORC-Modul ist eine Feinentstaubung erforderlich. Hier wurde die Eignung von innovativen metallischen Mikrosieben geprüft, sowie eine weitere Nutzung der im Abgas enthaltenen Restwärme durch einen Abgaswäscher zur Steigerung der Gesamteffizienz entwickelt.

Methoden und Ergebnisse

Vorgehensweise

Innerhalb des Vorhabens wurden folgende technische und wissenschaftliche Arbeitsziele verfolgt:

- Ermittlung der prozess- und sicherheitstechnischen Anforderungen an die Einbindung eines Mini-ORC-Prozesses in Biomassefeuerungen
- Untersuchung des Anti-Fouling Verhaltens von Wärmetauschern in Biomassekesseln und Gegenmaßnahmen wie Staubvorabscheidung (insbesondere mit Mikrosieben) oder Abreinigungsmethoden am betroffenen Wärmetauscher (Druckstoß, Luftspülung)
- Untersuchung der Integration einer wirkungsvollen Restwärmennutzung mit Staubabscheidung durch einen Abgaswäscher
- Konkretisierung des Gesamtkonzepts und Vergleich mit anderen Konzepten zur KWK-Nutzung in Biomassefestbrennstoffanlagen (vgl. Abschlussbericht Fraunhofer UMSICHT 2012)

Das Projekt wurde zweistufig bearbeitet. Zunächst erfolgte eine Prüfung verschiedenen Prozessvarianten, die durch Literaturrecherchen ergänzt wurde. Anschließend wurde das erfolgversprechendste Konzept konkretisiert. Die kurzgefassten Ergebnisse der dargestellten Teilaufgaben sowie das Gesamtkonzept sind im folgenden Kapitel beschrieben.

Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes sollten prozess- und sicherheitstechnische Anforderungen zur Einbindung eines Mini-ORC-Prozesses an eine Biomassefeuerung geklärt werden. Dazu wird ein mögliches Verschaltungsschema aufgezeigt, auf dessen Grundlage eine Kreisprozesssimulation durchgeführt wurde. Die wesentlichen Probleme, die bei einem direktbefeuerten Biomasse-Abhitzeessel auftreten können, sind Staubablagerungen (sogenanntes Fouling) an den Wärmetauscherflächen. Hierzu sind verschiedene Reinigungs- als auch Vorabscheidungskonzepte ausgearbeitet worden.

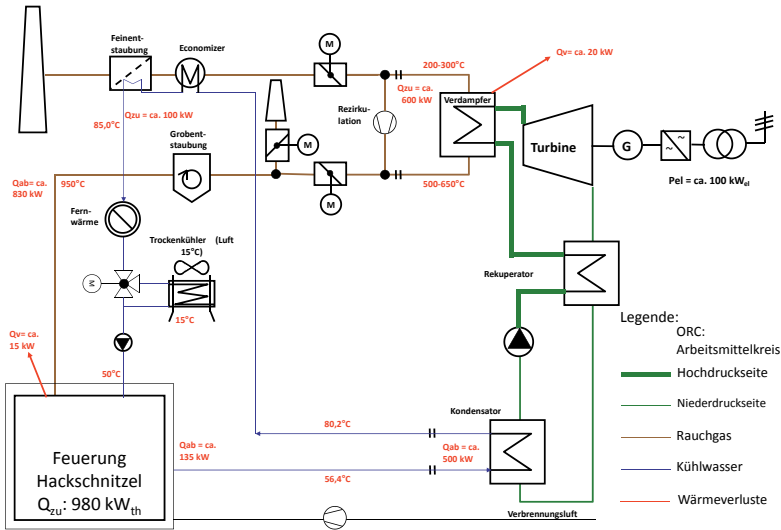


Abbildung 1: Abschließend vorgeschlagene Verfahrensvariante; Auslegungsfall: $Q_{zu} = 980 \text{ kW}_{th}$

In Abbildung 1 wird ein mögliches Verschaltungsschema einer Biomassefeuerung zur Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich aufgezeigt. Dabei wird der im Rauchgasstrom enthaltene Staub zuerst mit einem Zyklon abgeschieden. Anschließend wird das heiße Rauchgas durch eine Rezirkulation (Rezigas) heruntergekühlt und tritt in den Verdampfer ein.

Für die Beheizung des ORC-Prozesses dient eine Biomassefeuerung, aufgebaut als Brennkammer, im Leistungsbereich ca. 950 kW_{th} . Diese liefert staubbeladenes Rauchgas mit ca. 850 bis 950°C , welches in einem Heißgaszyklon vorgereinigt wird. Über eine Abgasrezirkulation wird ein für den ORC-Verdampfer verträgliche Abgasmischtemperatur von ca. 500 bis 750°C eingestellt. Limitierend wirkt hierbei die für die in Frage kommenden ORC-Arbeitsmedien zulässige maximale Wandtemperatur im ORC-Verdampfer von etwa 300°C . Liegen die Wandtemperaturen darüber, sind die Zersetzungsraten des Arbeitsfluides zu hoch, um einen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Betrieb zu gewährleisten. Durch die Rauchgasrezirkulierung können ohne Wirkungsgradeinbußen relativ preiswerte Werkstoffe für den ORC-Verdampfer verwendet und eine starke Zersetzung des Arbeitsfluides vermieden werden. Als Arbeitsmedium wird Ethylbenzol vorgeschlagen, das vor allem hinsichtlich der sich ergebenden thermodynamischen Wirkungsgrade des Kreisprozesses, seines Preises sowie seiner geprüften guten thermischen Beständigkeit zu bevorzugen ist.

Wird das Rauchgas im Bypassbetrieb (parallel zum Abhitzekessel) gefahren, so muss dieses direkt über einen Not-Kamin abgeleitet werden, da die nachfolgenden Bauteile für solch hohe Temperaturen nicht geeignet sind.

Der ORC-Verdampfer kühlt das Abgas je nach Betriebsbedingungen auf Temperaturen zwischen 200 und 300°C ab. Die verbleibende Rauchgaswärme wird im Economizer (Rest-

wärmenutzung) und ggf. in der folgenden Feinstaubung (zur Restwärmenutzung und Emissionsminderung) weiter abgekühlt, um eine Vorlauftemperatur im Heizkreis von ca. 85,0 °C zu ermöglichen. Beim Economizer wird ein U-Rohrbündel-Wärmeübertrager bevorzugt. Es ist bei diesem Bauteil mit einer wesentlich geringeren Staubbelastung als beim Verdampfer zu rechnen.

Die Feuerung selbst wird mit einem Heizwasser-Rücklaufstrom (Eintrittstemperatur: 50 °C) gekühlt, damit die bei der Verbrennung entstehende Strahlungswärme abgeführt werden kann und die zulässige Feuerungswandtemperatur nicht überschritten wird. Eine weitere Vorwärmung findet im Kondensator des ORC-Prozesses statt. Dabei wird die Kondensationswärme (Kondensationstemperatur 80-95 °C auf der ORC-Prozesseite) des Arbeitsmittels an das Heizwasser übertragen und schon hier eine praxiserreichende Vorlauftemperatur zur Wärmenutzung von ca. 80 °C erreicht. Anschließend wird im Economizer und in der Feinstaubung/im Wäscher diese Kühlmitteltemperatur auf ca. 85 °C aufgestockt.

Wärmeverluste werden von einem möglichen Feuerungshersteller mit ca. 15 kW angegeben. Für den Rauchgasweg, Heißgaszyklon und den Verdampfer werden die Verluste mit pauschal 20 kW angegeben. Eine detailliertere Bilanzierung ist möglich, muss allerdings auf die realen Verhältnisse am Standort angepasst werden.

Thermodynamische Kreisprozesssimulation:

Es wurden drei potentielle Arbeitsmittel (HMDSO, Ethylbenzol und n-Heptan) einer thermodynamischen Kreisprozessberechnung unterzogen. Bei dem Arbeitsmittelvergleich ergibt sich die höchste elektrische Leistung bei Ethylbenzol mit 100,70 kW und 16,78 % Bruttowirkungsgrad. Es wird dabei eine Verdampfungstemperatur von 240 °C und eine Kondensationstemperatur von 85 °C angesetzt, die weiteren Parameter sind dem Endbericht zu entnehmen.

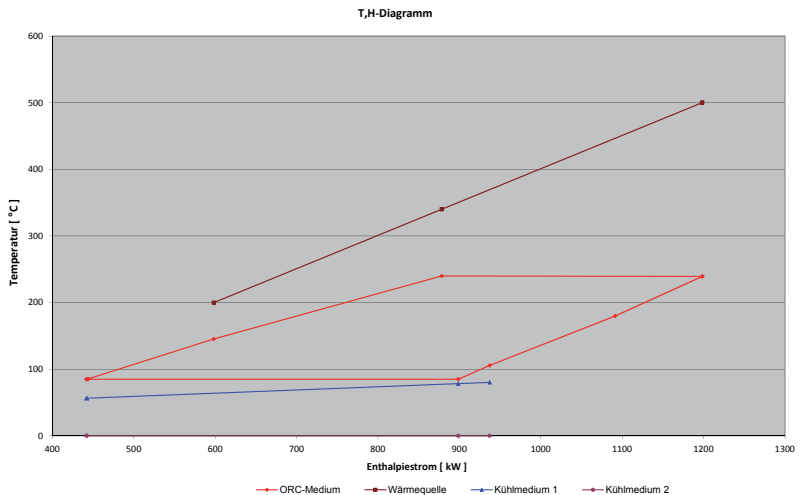


Abbildung 2: Kreisprozesssimulation für das Arbeitsmittel Ethylbenzol

Konzept eines Abhitzekessels:

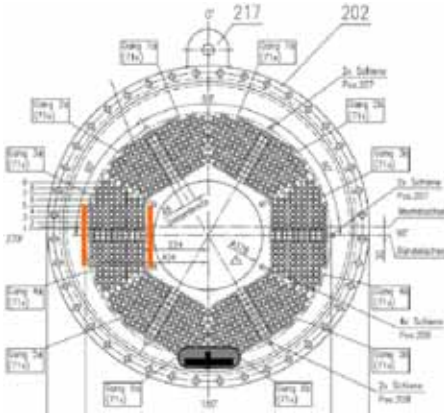


Abbildung 3: Konzept eines leicht abzureinigenden U-Rohrbündels mit mantelseitig ausgespartem innerem zylindrischen Arbeitsraum zur Abreinigung ohne Ziehen des Bündels, ORC-Arbeitsfluidführung rohrseitig; Orange: Druckluftanlagen beispielhaft eingezeichnet, Grau: Ascheaustag

Die vorgeschlagene ORC-Verdampferkonstruktion mit konzentrisch um einen freien Zylinderraum angeordnetem Rohrbündel ist vom Zylinderraum aus bei Bedarf relativ einfach händisch abzureinigen. Sie ist für Partikelfrachten bis etwa 1 kg/h in ähnlichen Anwendungen erprobt und wird daher als geeignet angesehen, um direkt hinter einer Grobentstaubung durch einen Hochtemperaturzyklon mit einer Restpartikelfracht von ca. 400 mg/Nm³ eingesetzt zu werden (vgl. Endbericht).

Untersuchung des Anti-Fouling Verhaltens von Wärmetauschern in Biomassekesseln und Gegenmaßnahmen wie Staubvorabscheidung oder andere Abreinigungsmethoden

Zur Auslegung und Dimensionierung des ORC-Wärmeübertragers wurde das Fouling-Verhalten einer Wärmeübertrager-Konstruktion sowie die Staubabscheidung durch neuartige Filtermedien, insbesondere metallische Mikrosiebe und Metallgewebe untersucht.

Danach wurden Auslegungsdaten für ein Filterkonzept abgeleitet. Mikrosiebe sind äußerst dünne, metallische Porenfilter mit einer gleichmäßigen und definierten Porenstruktur. Aufgrund ihrer geringen Dicke von wenigen Mikrometern weisen sie bei gleicher Porosität einen geringeren Druckverlust auf als konventionelle Filtermedien. Die Stabilität ist bei Anwendungen bis ca. 350 °C gegeben. Darüber hinaus gehende Temperaturen bewirken ein Verspröden des Materials.

Es wurden Mikrosiebe mit mittleren Porendurchmessern von 3, 10 und 16 µm sowie Metallgewebe mit einer Filterfeinheit von 36 und ca. 100 µm in verschiedenen Versuchsaufbauten untersucht. Dazu wurden die Filtermedien im Bypass an den Abgasstrom einer 200 kW-Hackschnitzelfeuerung mit einer speziellen Filterhalterung angebracht. Der zeitliche Verlauf der Abscheideleistung wurde durch ein adaptiertes Prüfverfahren in Anlehnung an GS-BIA-MO6 (BIA 2003) bestimmt. Dazu wurde der Abscheidegrad als Zeitmittelwert über eine Stunde (sechs Messungen) durch Bestimmung der Roh- und Reingaspartikel-

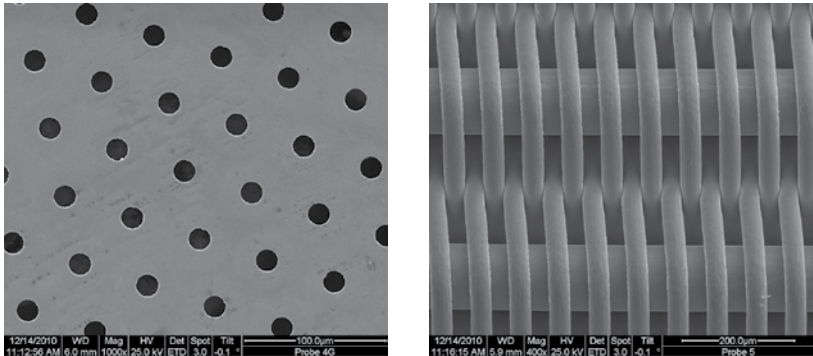


Abbildung 4: REM-Aufnahmen verschiedener Mikrosiebe; Links: mikrogalvanisch hergestelltes Nickel-Mikrosieb, Rechts: Metallgewebe

konzentrationen mittels Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) ermittelt. Zudem wurde hinter dem Filterelement ein Glasfaser-Planfilter (\varnothing 45 mm Fa. Munktell) mit einer Filterhalterung gemäß VDI 2066 eingesetzt, um die mittlere Reingaskonzentration nach einer Stunde Betriebszeit zu bestimmen. Das Abgas wurde mittels einer gasdichten Kolbenschieber-Vakuumpumpe nach Durchströmung der Filterhalterung zunächst durch einen Trockenturm und anschließend durch einen Schwebekörperdurchflussmesser und eine Gasuhr geleitet. Die detaillierte Beschreibung der Versuchsanordnung sowie die Spezifikationen der verwendeten Messgeräte und Anlagenbestandteile sind im Endbericht (Fraunhofer UMSICHT 2012) aufgeführt.

Ergebnisse

Insbesondere bei Mikrosieben wurden sehr hohe Abscheideraten von über 98 % bereits nach wenigen Minuten Betriebszeit festgestellt. Die Reingasstaubgehalte gemittelt über eine Stunde Betrieb lagen bei deutlich unter 2 mg/Nm^3 (vgl. Tabelle 1). Bei den ebenfalls untersuchten Metallgeweben konnten nur bei einem Gewebe mit einer Filterfeinheit von $36 \mu\text{m}$ erfolgversprechende Abscheidegrade und einen Reingasstaubgehalt von ca. 4 mg/Nm^3 erreicht werden. Die mittlere Rohgaskonzentration über den Versuchszeitraum lag bei $59,2 \text{ mg/Nm}^3$. Ein Gewebe mit Porenöffnungen von etwa $100 \mu\text{m}$ wäre mit einem Abscheidegrad von etwa 50 % nach einer Stunde Betriebszeit zur Grobentstaubung einsetzbar.

Auf Basis der durchgeführten Versuche und weiterer Laborversuche¹ wurde ein theoretisches Berechnungsmodell zur Auslegung von Filteranlagen auf Mikrosiebbasis entwickelt (vgl. Stahl 2011). Für eine Feuerungsanlage der betrachteten Größe und den damit verbundenen Rauchgasvolumenstrom von ca. $2.800 \text{ Nm}^3/\text{h}$ wäre eine Filterfläche von 145 m^2 erforderlich (bei $85 \text{ }^\circ\text{C}$ Abgastemperatur, 1.500 Pa Druckverlust).

¹ „Metallische Mikrosiebe zur spezifischen Abscheidung von Schadstoffen und Keimen aus Abgasen, Wasser und Lebensmitteln“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen 01RI0909A.

Tabelle 1: Gemittelter Abscheidegrad der Filtermedien nach Durchströmung mit Abgas einer Hackschnitzelfeuerung von 60 Minuten sowie Staubmassenkonzentration hinter den Filtermedien nach Durchströmung mit Abgas einer Hackschnitzelfeuerung von 60 Minuten

Filtermedium	Rohgaskonzentration [1/cm ³]	Reingaskonzentration [1/cm ³]	Anzahlbezogener Abscheidegrad [%]	Staubmassenkonzentration im Reingas [mg/Nm ³]
MS 87 (17,9 µm)	1,93E+07	1,29E+06	93,30	1,3
MS 252 (10 µm)	2,62E+07	2,51E+05	99,04	0,4
MS 389 (3 µm)	2,30E+07	2,53E+05	98,90	0,1
MG 36 (36 µm)	2,12E+07	5,04E+06	76,25	3,9
MG 100 (100 µm)	1,07E+07	5,21E+06	51,39	28,6

Untersuchung der Integration einer wirkungsvollen Restwärmenutzung mit Staubabscheidung durch einen Abgaswäscher

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde ein Abgaswäscher konzipiert und erprobt. Der Abgaswäscher soll die Auskopplung von Restwärme im Abgas zur Erhöhung der Gesamteffizienz bei einer einfachen, kostengünstigen und störungsunanfälligen Konstruktion erlauben. Der gewählte Aufbau ist in Abbildung 5 dargestellt.

Als Basis wurde eine mit Waschmedium überströmte Lamellenkonstruktion gewählt, die durch eine Filmbildung auf den Lamellen auf den Lamellen eine gute Benetzung des Abgases und damit einen guten Wärmeübergang sowie auch einen Rückhalt von Partikeln erreichen soll. Mitgerissene Tropfen sowie Kondensat werden nachfolgend durch entsprechende Tropfen- und Nebelabscheider zurückgehalten.

Zur Optimierung der Konstruktion wurden Überströmungsversuche mit unterschiedlichen

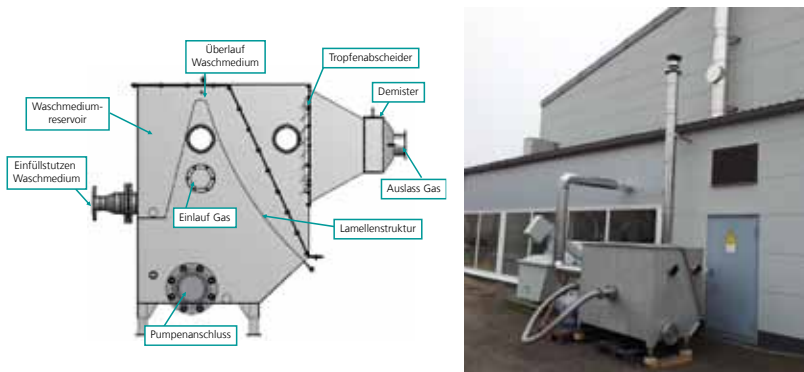


Abbildung 5: Wäscherkonstruktion (links) und Versuchsaufbau 200 kW Hackschnitzelanlage (rechts)

Volumenströmen und Überströmungsraten durchgeführt. Anschließend wurden die Anlagen im Abgasstrom einer 200 kW-Holzhackschnitzelanlage betrieben und Abscheideleistung sowie Wärmeaufnahme bestimmt.

Zum derzeitigen Entwicklungsstand wurde eine Wärmeauskopplung von ca. 10 % der Nennwärmeleistung bei einer Abscheideleistung von ca. 60 % (anzahlbezogen) erreicht. Allerdings wurde insbesondere hinsichtlich des massebezogenen Abscheidegrads ein deutliches Optimierungspotenzial ermittelt, so dass mit dem derzeitigen Konzept die Grenzwerte der 1. BImSchV in der zweiten Stufe nicht erreicht werden können. Ggf. wäre bei Einsatz des Wäschers eine nachgeschaltete Feinstaubung erforderlich. Der ermittelte Druckverlust lag bei der vorliegenden Konstruktion bei ca. 1.850 Pa bei 800 m³/h.

Gesamtentstaubungskonzept

Für eine Grobentstaubung im Hochtemperaturbereich direkt hinter der Feuerung und vor dem Eintritt in den ORC-Verdampfer wird ein Hochtemperaturzyklon mit einem Trennkorkorndurchmesser von weniger als 1 µm vorgeschlagen. Eine Zyklonauslegung wurde durchgeführt. Aufgrund der hohen Volumenströme in diesem Temperaturbereich von ca. 10.100 m³/h ist ein Zyklon apparativ unproblematischer und damit ökonomisch vorteilhaft. Der kalkulierte Druckverlust liegt bei ca. 1.850 Pa bei einer Baugröße von 2,5 m (Höhe) und DN400 Anschlussflanschen.

Die im Rahmen des Projekts untersuchten metallischen Mikrosiebe sind prinzipiell für eine Feinstaubung des Abgasstroms geeignet. Für eine zeitnahe Umsetzung des Projektkonzepts werden aufgrund der bislang technisch noch nicht verfügbaren Filterflächen derzeit noch konventionell verfügbare Faserfilter oder elektrostatische Abscheider vorgeschlagen. Ergänzend kann ein Abgaswäscher eingesetzt werden, der im Rahmen der Projektarbeit entwickelt und erprobt wurde. Hier ist zum derzeitigen Entwicklungsstand eine Wärmeauskopplung von ca. 5 % der Nennwärmeleistung möglich. Aufgrund der erreichbaren Reingastaubgehalte ist dieses Aggregat in Kombination mit einer zusätzlichen Feinstaubung einzusetzen, um die Grenzwerte der 1. BImSchV in der zweiten Stufe sicher erreichen zu können.

Beitrag zu den Nachhaltigkeitsaspekten

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde eine Energie-, Öko- und Kostenbilanz u.a. auf Basis der im Methodenhandbuch Version 2.1 (Thrän et al. 2011) dargestellten Vorgehensweise und Parameter durchgeführt. Dabei wurden zwei Verfahrensvarianten geprüft:

Variante A: HT-Zyklon+Wäscher

Variante B: HT-Zyklon+Filter (konvent.)

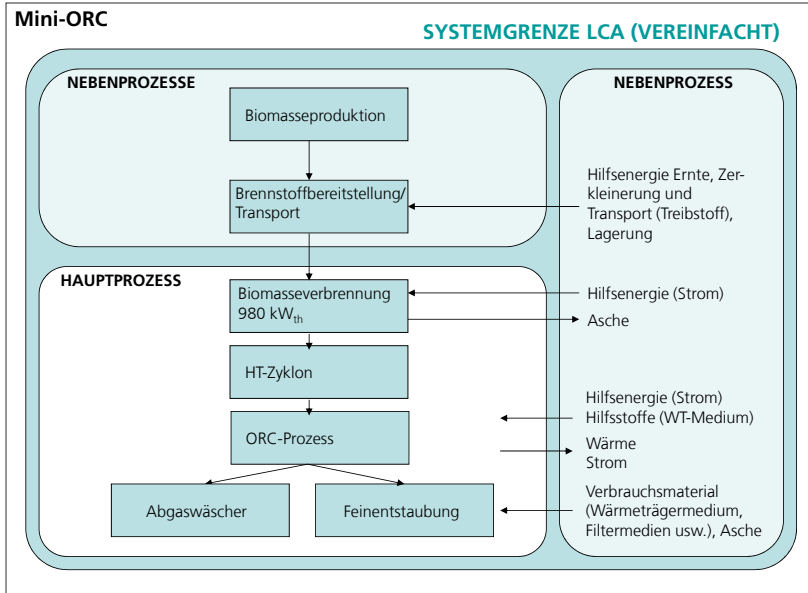


Abbildung 6: Systemgrenzen der durchgeführten Energie-, Öko- und Kostenbilanz

Die betrachteten Systemgrenzen sind in nachfolgender Abbildung dargestellt. Für beide Varianten wurden verschiedene Betriebszustände (Teillast- und Volllastbetrieb) der ORC-Anlage sowie verschiedene Eingangsbiomassen (Waldholz, Waldrestholz und Kurzumtriebsplantagenholz KUP) untersucht. Für den anzustrebenden Dauerbetrieb bei Einsatz von Waldrestholz und Verfahrensvariante A wurden folgende Ergebnisse hinsichtlich Treibhausgasemissionen, Treibhausgasminderungspotenzial sowie CO_2 -Äq.-Vermeidungskosten bezogen auf die fossile Referenz (Grenzstrom-Mix: Erdgas-GuD- und Import-Steinkohle-Kraftwerke, Wärmebereitstellung aus dem Mix Erdgas/Öl-Heizung) ermittelt:

Tabelle 2: THG-Emissionen, Treibhausgasminderungspotenzial sowie Vermeidungskosten für die untersuchte Prozessvariante

Stoff- und Energieströme	Einheit	Dateneingabe Dauerbetrieb (7.500 h/a)	Erläuterung
Jahresenergiemenge Strom	kWh/a	755.250	
Jahresenergiemenge Wärme	kWh/a	4.899.943	
Jährliche THG-Emissionen Mini-ORC	kg _{CO₂-Äq.} /a	70.551	Gleichmäßige Verteilung der Emissionen auf die Energieprodukte
Zur Bereitstellung von 1 MJ Strom bzw. Wärme	g _{CO₂-Äq.} /MJ	3,47	
Jährliche THG-Emissionen Referenz	kg _{CO₂-Äq.} /a	2.023.501	
Zur Bereitstellung von 1 MJ Strom bzw. Wärme	g _{CO₂-Äq.} /MJ	99	
THG-Minderungspotenzial	%	-96,51	
Gesamtkosten / Wärmegestehungskosten Brutto Mini-ORC			
Zur Bereitstellung von 1 MJ _{th} Wärme	€/MJ _{th}	0,011	Unter Berücksichtigung des Allokationsfaktors, gleichmäßige Verteilung der Kosten auf die Ener- gieprodukte
Zur Bereitstellung von 1 MJ _{el} Strom	€/MJ _{el}	0,011	
Wärmegestehungskosten Netto (Inkl. Gutschriften) Mini-ORC			
Jährlicher Reingewinn (A)	€/a	62.845	
Zur Bereitstellung von 1 MJ _{th} Wärme	€/MJ _{th}	0,003	Unter Berücksichtigung des Allokationsfaktors
Zur Bereitstellung von 1 MJ _{el} Strom	€/MJ _{el}	0,003	
Gesamtbereitstellungskosten Referenz	€2010/MJ	0,033	
Gesamtbereitstellungskosten Referenz	€2010/a	666.333	
Vermeidungskosten ohne Gutschriften/Erlöse	€/t _{CO₂-Äq.}	-228,79	
Vermeidungskosten mit Gutschriften/Erlösen	€/t _{CO₂-Äq.}	-309,01	

Wesentliche weitere Anmerkungen zu Nachhaltigkeitsaspekten sind in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 3: Zusammengefasste Nachhaltigkeitsaspekte Mini-ORC

Nachhaltigkeitsaspekt	Synergien	Konflikte
Ökologie		
THG-Minimierung	Verfügbare Biomasse kann genutzt werden	Vergleichsweise hohe THG-Emissionen bei der Nutzung von Waldholz und KUP
Emissionsminderung	Dezentrale Energieerzeugung mit Wärmeabnahme	Aus sozialen Aspekten weiterhin Bedarf an Kaminöfen
Ökonomie		
Erzeugung elektrischer Energie	Wirkungsgraderhöhung, THG-Minderung	Flächenbedarf, LxBxH (m): 10x2,5x3,2
Wirkungsgraderhöhung durch Restwärmenutzung	THG-Minderung	Produktion von Abfallstoffen
Soziales		
Nutzung lokaler, nachwachsender Rohstoffe	Einsatz in Anlagen kleiner bis mittlerer Leistung	Logistik, ist aber bereit für die Biomassefeuerung vorhanden
Dezentrale Energieerzeugung	Kurze Transportwege Brennstoff, Wärmeabnahme	Geringerer elektrischer Wirkungsgrad (15-18 %) als bei Großkraftwerken, aber dafür kann die Wärmeenergie komplett genutzt werden

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Es hat sich gezeigt, dass durch die im Projekt geleistete Vorarbeit viele bisher unbeantwortete Fragen in Ansätzen beantwortet werden konnten. Eine technische Umsetzung der ORC-Konzeptes erscheint auf dieser Basis möglich. Daher werden einer Umsetzung des entwickelten Konzepts hohe Erfolgsaussichten eingeräumt. Fraunhofer UMSICHT und Dürr Cyplan bemühen sich derzeit um die Einleitung eines geeigneten Pilotprojektes.

Selbstverständlich können ähnliche Konzepte bei der Umsetzung anderer kleiner ORC-Prozesse, die mit der Wärme heißer Abgase angetrieben werden, zur Anwendung kommen. Auch die Untersuchungen zur Trenneigenschaft neuer Partikelentstäubungstechniken auf Basis der Mikrosiebfiltration liefern wichtige Berechnungsgrundlagen für eine Adaption an andere Einsatzfälle.

Literaturverzeichnis

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA: Grundsätze zur Prüfung von Filtern für die Verwendung in staubbeseitigenden Maschinen und Geräten. Ausgabe 09/2003, Sankt Augustin.

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik – UMSICHT: Kombiniertes Mini-ORC- und Emissionsminderungskonzept für Biomassefeuerungen bis 1 MW_{th}. Endbericht BMU FKZ-Nr.: 03KB009, Oberhausen, 2012.

Thrän, D.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): Methodenhandbuch. Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagasemissionen. Version 2.1, Leipzig, 2011.

Stahl, E.: Charakterisierung metallischer Mikrosiebe zur Gasreinigung am Beispiel der Feinstaubung von Holzfeuerungsabgasen, Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 2011.

Schulzke, T.; Bültgen, B.; Althaus, W.: Direkte Rauchgaswärmenutzung über ORC-Anlagen; In: Hochschule Zittau/Görlitz (Hrsg.), Elektroenergie aus Biomasse in dezentraler Anwendung – Technik, Ökonomie, Ökologie, 2011, S. 60-71.

Bültgen, B.; Grob, J.; Hunstock, B.; Althaus, W.; Eckert, F.: Nutzung innovativer Turbinentechnik zur dezentralen Abgaswärmeverstromung durch ORC Anlagen, Posterpräsentation, 44. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 23.-24.10.2012, Technische Universität Dresden, 2012.





Biomass to Gas - Energtische Nutzung biogener Reststoffe mit AER*-Technologie

Jochen Brellochs¹, Stefan Steiert¹, Michael Specht¹, Norman Poboss², Dominic Buchholz³

Vorhaben: FuE-Plattform „Biomass-to-Gas“ (BtG) - Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER*-Technologie

FKZ-Nr.: O3KB011

Laufzeit: 01.04.2009 – 31.12.2012

Zuwendungssumme: 1.094.922 €

Koordination:

¹Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Industriestr. 6, 70565 Stuttgart
www.zsw-bw.de

Projektpartner:

²Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) der Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 23, 70569 Stuttgart
www.ifk.uni-stuttgart.de

Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/733303226.pdf>

³DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut (DVGW-EBI)
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
Engler-Bunte-Ring 1, 76131 Karlsruhe
www.dvgw-ebi.de

*AER: Absorption Enhanced Reforming (absorptionsunterstützte Reformierung)

Kontakt:

Dr. Michael Specht (ZSW)
Telefon: +49 (0) 711 7870-218
E-Mail: michael.specht@zsw-bw.de

**Dr. Michael Specht (Projektleiter):**

Das AER-Verfahren zeichnet sich einerseits durch die Flexibilität verwendbarer Biomassen - insbesondere die Verwendung biogener Reststoffe mit hohem Mineralstoffanteil - und andererseits durch die Flexibilität bezüglich der Produkte aus. Neben der Strom- und Wärmeerzeugung richtet sich der Fokus auf die Erzeugung von Erdgassubstitut, das über die vorhandene Gasinfrastruktur gespeichert und verteilt werden kann. Das Besondere an dem Verfahren ist die Option, das erzeugte Synthesegas in seiner Zusammensetzung in-situ gezielt einzustellen und bezüglich der Stöchiometrie auf den Syntheseprozess - insbesondere die Methanisierung zur Erzeugung von Erdgassubstitut - zu adaptieren.

Hintergrund und Zielstellung

In Zukunft wird der Anteil an Erneuerbaren Energien in der Energieversorgung weiter zunehmen. Ziel ist es, Endenergie in Form von Wärme, Strom und Kraftstoff sowie Energie für industrielle Prozesse aus regenerativen Quellen nachhaltig bereitzustellen. Insbesondere die Bereitstellung von regenerativen, chemischen Energieträgern stellt eine große Herausforderung dar. Ein vielversprechender Ansatz zur nachhaltigen Erzeugung von chemischen Energieträgern ist die thermo-chemische Veredlung biogener Reststoffe, da alle Bestandteile der Biomasse (auch Lignin) umgewandelt werden können und das energetisch nutzbare Biomassepotenzial in Deutschland an festen Reststoffen im Vergleich zu vergärbaren Reststoffen um den Faktor vier größer ist (Nitsch et al. 2012).

Bei der thermo-chemischen Konversion mittels absorptionsunterstützter Wasserdampf-Formierung (AER-Biomassevergasung) wird aus fester Biomasse (z. B. Waldrestholz, Stroh, biogene Reststoffe, etc.) ein hochwertiges Produktgas erzeugt. Dieses ist aufgrund des hohen Wasserstoffanteils bei geringen CO- und CO₂-Gehalten prädestiniert zur Bereitstellung von Synthesegas und daraus synthetisierbaren Sekundärenergieträgern, insbesondere Erdgassubstitut (SNG, Substitute Natural Gas).

Die Weiterentwicklung der AER-Biomassevergasung und die Vorbereitung zukünftiger Demonstrationsvorhaben zur Bereitstellung von Erdgassubstitut und regenerativem Wasserstoff aus biogenen Reststoffen standen im Fokus des gemeinsam vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (AZ: 4-4587.2-155) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ: 03KB011) geförderten Verbundprojektes „FuE-Plattform „Biomass-to-Gas“ (BtG) - Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie“. Die Weiterentwicklung der AER-Biomassevergasung und die Vorbereitung zukünftiger Demonstrationsvorhaben zur Bereitstellung von Erdgassubstitut und regenerativem Wasserstoff aus biogenen Reststoffen standen im Fokus des gemeinsam vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (AZ: 4-4587.2-155) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ: 03KB011) geförderten Verbundprojektes „FuE-Plattform „Biomass-to-Gas“ (BtG) - Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie“.

Das AER-Verfahren

Werden feste Brennstoffe vergast, erhält man ein Produktgas, das vielseitig genutzt werden kann. Der Brennstoff reagiert mit (Luft)-Sauerstoff oder Wasserdampf und es entsteht ein Produktgas mit den Hauptbestandteilen H_2 , CO , CO_2 , CH_4 (und N_2 bei Luftvergasung) sowie Restkoks als Vergasungsrückstand.

Beim AER-Prozess wird als Brennstoff Biomasse mit Wasserdampf vergast und die benötigte Prozesswärme durch einen heißen, reaktiven Wärmeträger (natürliche Kalksteinpartikel als Wirbelschichtbettmaterial) in den Vergaser eingebracht. Das kalksteinbasierte Bettmaterial trennt das bei der Vergasung entstehende CO_2 direkt im Prozess ab, sodass man in einem Verfahrensschritt ein inertgasarmes Produktgas von hohem Energiegehalt und mit einem hohen Wasserstoffanteil (ca. 70 Vol.-%_v) erhält. Mit CO_2 beladenes Wirbelschichtbettmaterial wird in einem zweiten Reaktor durch die Verbrennung des Biomasserestkokses wieder regeneriert und in den Vergasungsreaktor zurückgeführt. Das bei der Regeneration freigesetzte CO_2 wird dabei CO_2 -neutral im Abgasstrom in die Umwelt freigesetzt. Die folgende Abbildung zeigt die technische Realisierung des AER-Verfahrens durch die Adaption existierender Verfahren mit zwei gekoppelten Wirbelschichten nach dem BATTELLE- bzw. DFB-Prozess (Dual Fluidised Bed) (Koppatz et al. 2009).

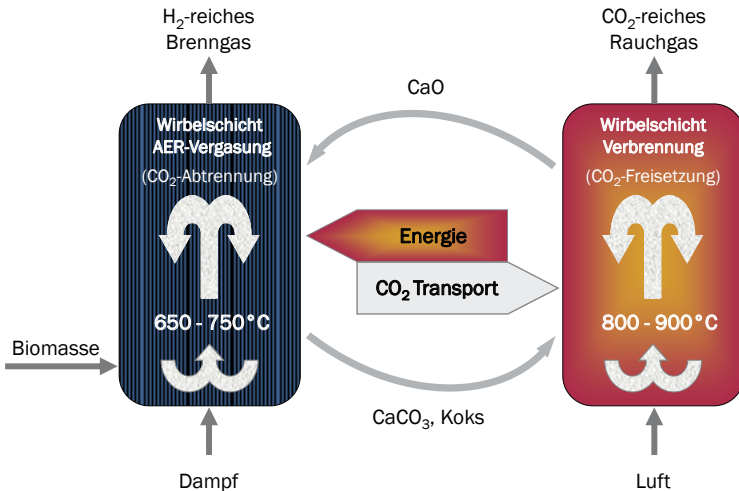


Abbildung 1: Prinzip des AER-Prozesses zur kontinuierlichen Biomassevergasung mit zwei gekoppelten Wirbelschichten. Umlaufende CaO -Partikel dienen als „ CO_2 -Pumpe“ und Wärmeträger. CaO trennt als Sorbens CO_2 während der Vergasung ab. Gebildetes $CaCO_3$ wird durch Verbrennen von Restkoks unter CO_2 -Freisetzung regeneriert und als CaO wieder in den Vergaser rückgeführt.

Die charakteristischen Merkmale des AER-Verfahrens bedingen folgende wesentliche Vorteile:

- Hohe Flexibilität hinsichtlich der biogenen Einsatzstoffe, da das verwendete Bettmaterial die Ascheerweichungstemperatur erhöht und somit das Aufschmelzen unter AER-Prozessbedingungen verhindert.
- Flexibler Einsatz des Produktgases sowohl als Brenngas bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) als auch als Synthesegas: Aufgrund des hohen H_2 -Gehalts sowie der einstellbaren Gaszusammensetzung durch die integrierte CO_2 -Abtrennung ist das AER-Produktgas sowohl für eine direkte SNG-Erzeugung als auch für eine Abtrennung von H_2 geeignet.
- Hohe Produktgasqualität durch eine Vergaser-integrierte Heißgasreinigung (geringer Teer- und CO_2 -Gehalt, Einbindung von Schadstoffen wie Schwefel und Halogene im CaO-basierten Wärmeträger), was die nachgeschaltete Reinigung des Rohgases vereinfacht.
- Möglichkeit der Rückführung der mineralischen Bestandteile in den natürlichen Stoffkreislauf, da biogene Nährstoffe (Asche) zusammen mit verbrauchtem natürlichem Kalkstein als Dünger eingesetzt werden können.

Einsetzbarkeit mineralstoffreicher Biomassesorten

Ein wesentliches Ziel des Verbundvorhabens war der experimentelle Nachweis der Einsetzbarkeit verschiedener mineralstoffreicher Biomassesorten bei der AER-Biomassevergasung im Labormaßstab. Hierzu wurden am ZSW rheologische Voruntersuchungen zur Beurteilung des Ascheerweichungsverhaltens von Biomassen in Verbindung mit verschiedenen Wirbelschichtbettmaterialien sowie am IFK Vergasungsexperimente in einer Wirbelschichtanlage durchgeführt.

Rheologische Untersuchungen des Ascheerweichungsverhaltens

Der Einsatz mineralstoffreicher Biomassen bei der Vergasung und Verbrennung in Wirbelschichtreaktoren birgt das Risiko von Störungen durch Agglomeration und Anbackungen zwischen Biomasseasche und Wirbelschichtbettmaterial, da die Ascheschmelztemperaturen im Vergleich zu mineralstoffarmen Biomassesorten deutlich tiefer liegen (Oberberger 2000). Um das Ascheerweichungsverhalten zu untersuchen und somit die Einsetzbarkeit mineralstoffreicher, biogener Reststoffe bei der AER-Vergasung zu beurteilen, wurden rheologische Untersuchungen verschiedener Biomasseaschen in Kombination mit verschiedenen Wirbelschichtbettmaterialien durchgeführt. Die Experimente erfolgten an einem Rheometer-Teststand und hatten die Identifizierung kritischer Reaktionsbedingungen hinsichtlich der Erweichung von Asche-Bettmaterial-Mischungen zum Ziel. Zentrales Element des Versuchsaufbaus ist ein sog. Rheometer (Rotationsviskosimeter) mit welchem das Drehmoment beim Rühren einer Asche-Bettmaterial-Mischung in Abhängigkeit der Pro-

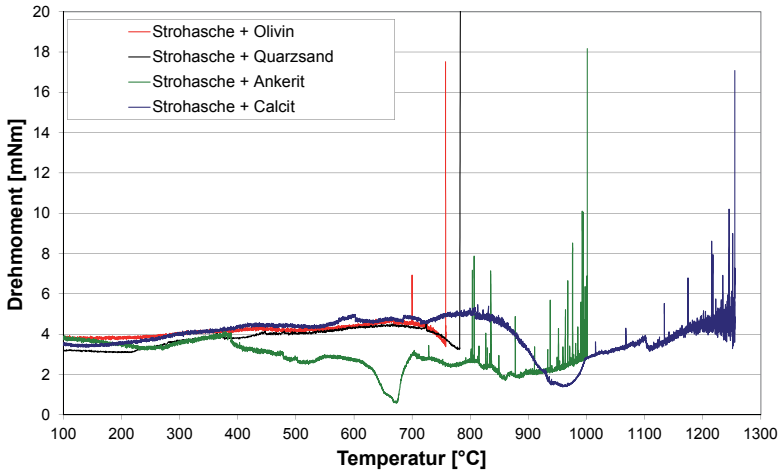


Abbildung 2: Rheologische Untersuchungen zum Ascheerweichungsverhalten von Strohasche in Mischung mit vier verschiedenen Bettmaterialien im Rheometer

bentemperatur gemessen wird. Kommt es innerhalb der Probe aufgrund von Ascheerweichung zur Agglomeration des Bettmaterials, so steigt das Drehmoment sprunghaft an und der Versuch wird beendet (siehe Abbildung 2).

Mit den Rheometerversuchen wurde gezeigt (vgl. Tabelle 1), dass bei der Verwendung von Olivin oder Quarzsand als Wirbelschicht-Bettmaterial in Kombination mit mineralstoffreicher Biomasse (z. B. Stroh) Agglomerationen im Temperaturbereich < 800 °C auftreten können. Bei den rheologischen Untersuchungen in Kombination mit CaO lag die Ascheerweichungstemperatur in allen Fällen oberhalb von 1200 °C, was auf den hohen Ca-Anteil des Kalksteins zurückzuführen ist. Auf Basis der erzielten Rheometerergebnisse waren Agglomerationen im AER-Versuchsbetrieb des IFK nicht zu erwarten, da Calcit als Bettmaterial bei Temperaturen kleiner 900 °C eingesetzt wurde.

Tabelle 1: Ascheerweichungstemperatur in °C für verschiedene Biomasse-Bettmaterial-Mischungen (Mischungsverhältnis 3 g Biomasseasche und 22,5 g Bettmaterial)

	Quarzsand	Olivin	Ankerit	Calcit
Holzasche	870	> 1.200	> 1.200	> 1.200
Strohasche	790	760	1.000	> 1.200

AER-Vergasung mineralstoffreicher Biomassen

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen zur Brennstoffflexibilisierung am IFK wurden verschiedenartige Biomassen mit unterschiedlich hohem Aschegehalt untersucht:

- Aschegehalt < 5 Ma.-%: Stammholz (Fichte und Esche), Kronenholz (Mix aus Esche und Ahorn), Landschaftspflegematerial (Ast- und Baumschnitt (Birke), Hecken- und Strauchschnitt).
- Aschegehalt > 10 Ma.-%: Rinde (Rindenmulch), Gartenabfälle aus Kompostierungsanlagen (Kompost frisch und Kompost verrottet).

Die Untersuchungen zur Vergasbarkeit der ausgewählten Brennstoffe wurden unter stationären AER-Bedingungen in einer 20 kW_{th}-Wirbelschichtversuchsanlage durchgeführt. Die Vergasungsexperimente unterteilten sich in zwei Versuchsphasen. In Phase I wurden die Biomassen kontinuierlich in einer stationären Wirbelschicht vergast, mit dem Ziel, die Gaszusammensetzung zu erfassen. Das dabei entstandene Bettmaterial-Koksgemisch wurde nach dem Versuch gesammelt und in Phase II weiter untersucht. Dabei wurde das Bettmaterial-Koksgemisch kontinuierlich in der Wirbelschichtversuchsanlage verbrannt und dabei das Bettmaterial regeneriert. Ziel hierbei war etwaiges Aufschmelzen der Aschen zu beobachten und verschiedene Verbrennungstemperaturen und Luftzahlen zu untersuchen, um das Abbrandverhalten des Kokes zu beurteilen.

Während der Vergasungsexperimente in Versuchsphase I konnten alle Brennstoffe in einem stabilen AER-Anlagenbetrieb bei ca. 650 °C vergast werden. Es wurde keine Ascheaufschmelzung oder Agglomeration im Vergaser beobachtet. Alle untersuchten Brennstoffe wiesen bezüglich der trockenen Produktgaszusammensetzung für nichtkondensierbare Gaskomponenten ein sehr ähnliches Ergebnis auf (siehe Abbildung 3). Der Wasserstoffgehalt lag im Bereich von 75-83 Vol.-%.

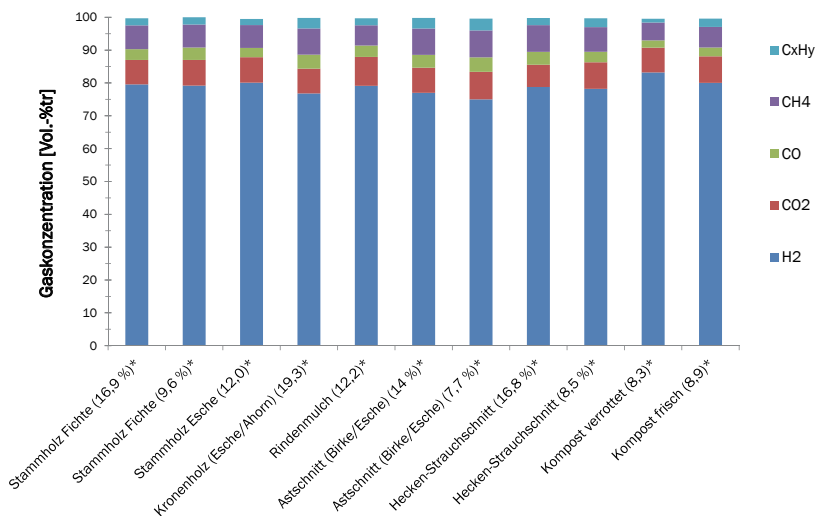


Abbildung 3: Gemessene Gaszusammensetzung für verschiedene Biomassen (*Wassergehalt der Biomasse)

Auch in Phase II wurde bei der Restkoksverbrennung und Regeneration des mit CO_2 beladenen Bettmaterials kein Ascheaufschmelzen beobachtet. Wie eine Siebanalysen der Bettproben von Phase II zeigten, vergrößerte sich der mittlere Partikeldurchmesser nicht, so dass Agglomerationserscheinungen ausgeschlossen werden können (Poboss et al. 2012).

Experimentelle Untersuchung der Teereinigung

Rohproduktgase aus der Vergasung weisen je nach Einsatzstoff und Vergasungstechnologie unterschiedliche Gasbeschaffenheiten auf. Neben den gasförmigen Hauptbestandteilen (Wasserstoff, Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid und Methan) sind vor allem Minorbestandteile wie hochmolekulare Kohlenwasserstoffe (u. a. Teere), Schwefelverbindungen, Halogenide, Alkalien aber auch Partikeln (Staub) im Rohgas enthalten, welche im weiteren Prozessverlauf zu Betriebsstörungen und Standzeitverkürzungen führen können. Dabei ist abhängig vom Verwendungszweck des Produktgases unterschiedlich hoher technischer Aufwand für die Gasreinigung erforderlich. Soll das AER-Produktgas zur Strom- und Wärmeerzeugung als Brenngas in einem Gasmotor genutzt werden, ist eine Gasreinigung mittels Gewebefilter und Biodieselwäscher, wie in der Biomassevergasungsanlage Güssing installiert, ausreichend (Pröll et al. 2007). Die Bereitstellung von regenerativen chemischen Energieträgern, wie z. B. Erdgassubstitut und Wasserstoff, aus AER-Produktgas benötigt jedoch einen deutlich höheren Aufwand zur Gasreinigung, da selbst geringe Verunreinigungen die erforderlichen Gaskonditionierungsverfahren (bei SNG: Methan-Synthese-Einheit; bei H_2 : Druckwechseladsorption) beeinträchtigen können.

Daher wurden im Rahmen des Projektes innovative Ansätze zur Teereinigung experimentell untersucht. Zum einen erfolgte die Untersuchung der Teerreformierung von AER-Rohproduktgas an einem schwefelresistenten Katalysator bei Temperaturen größer 500°C am DVGW-EBI. Ziel der Untersuchungen war es, die im Teer gebundene Energie zu nutzen und somit die Ausbeute an AER-Produktgas zu erhöhen. Zum anderen wurde am ZSW die Teerfeinreinigung eines teerbeladenen synthetischen AER-Produktgases bei Temperaturen kleiner 80°C untersucht. Wesentliche Aspekte waren dabei die Charakterisierung von Aktivkohle-Adsorbentien hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in einer Feinreinigungsstufe unmittelbar vor einem nachgeschalteten Gaskonditionierungsschritt und die Ermittlung von Einflussfaktoren auf die Teerfeinreinigung.

Teerreformierung mit schwefelresistentem Katalysator

Für die experimentellen Untersuchungen der Heißgasreinigung wurde im Rahmen des Verbundvorhabens eine modulare und mobil einsetzbare Versuchsanlage am Engler-Bunte-Institut aufgebaut, die als Reinigungsstufen eine Heißgasteerentfernung, eine Entschwefelung und eine Abscheidung von Alkalien und Halogeniden aufwies. Die einzelnen Reinigungsstufen wurden möglichst variabel konzipiert, sodass neben Schüttungen auch strukturierte Packungen (z. B. Wabenkörper) untersucht werden konnten. Hauptgasbestandteile und einzelne Spurenstoffe wurden mittels Gaschromatographie kontinuierlich gemessen.

Im ersten Teil der experimentellen Untersuchungen erfolgte ein Screening von vorausgewählten Katalysatoren und Adsorbentien. Hierzu wurden die wichtigsten Betriebsparameter (z. B. Temperatur, Verweilzeit) bei unterschiedlichen Gaszusammensetzungen variiert und geeignete Betriebsfenster definiert. Insbesondere war die Frage zu klären, ob eine Hochtemperaturentschwefelung vor der Teerentfernung sinnvoll umsetzbar ist, bzw. bei welchen minimalen Temperaturen und H_2O -Gehalten eine katalytische Teerreformierung ohne Verkokung des Katalysators ablaufen kann. Außerdem wurde die Schwefelresistenz der Katalysatoren geprüft. Als Ergebnis der Untersuchungen konnte ein Katalysatorsystem entwickelt werden, das unter Anwesenheit von üblichen Schwefelkonzentrationen in der Lage ist, Teere zu reformieren, wie es exemplarisch für die Schwefelkomponente Carbonylsulfid (COS) in Abbildung 4 dargestellt ist. Es wurde sowohl die Modellteerkomponente Phenol als auch das unerwünschte Folgeprodukt Benzol ab einer Temperatur von $900\text{ }^\circ\text{C}$ vollständig umgesetzt. Anschließend wird der Schwefel, der nach der Reformierung ausschließlich in Form von Schwefelwasserstoff vorliegt, adsorptiv abgetrennt und so ein Synthesegas mit ausreichender Reinheit für eine anschließende SNG-Erzeugung erzeugt. Im Anschluss an die Laborversuche erfolgte ein Praxistest der aufgebauten Heißgasreinigungsapparatur an einer 20 kW_{th} -Wirbelschichtversuchsanlage beim Projektpartner IFK. Dabei zeigte sich, dass auch die Teerbestandteile aus einem realen AER-Vergasungsgas unter Anwesenheit von Schwefel reformiert werden konnten.

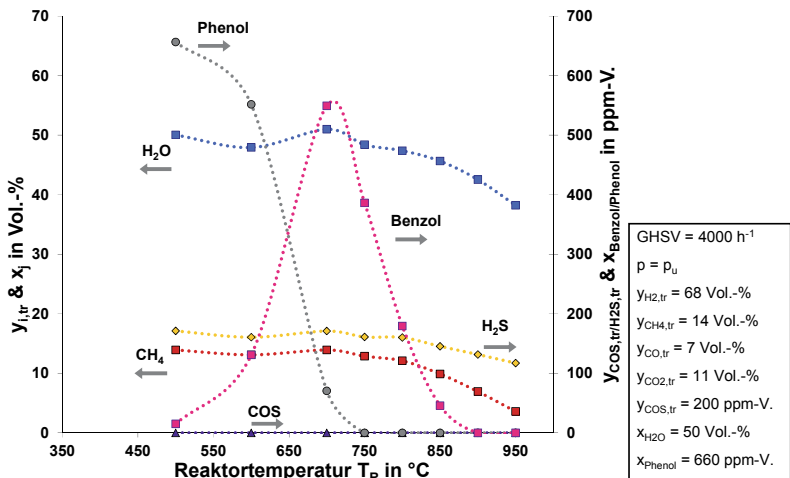


Abbildung 4: Schwefeltolerante Teerreformierung der Modellteerkomponente Phenol unter Anwesenheit von Carbonylsulfid

Teerfeinreinigung mittels Aktivkohle-Adsorbentien

Das vorgereinigte AER-Produktgas enthält nach einer Biodieselwäsche noch Verunreinigungen (z. B. Teer, NH_3 , H_2S , HCl), da diese nicht vollständig durch dieses Waschverfahren abgetrennt werden. Durch den Einsatz von Adsorbentien können diese Störstoffe aus der Gasphase entfernt werden. Dabei hängt das Aufnahmeverhalten stark von den Materialeigenschaften ab. Grundsätzlich eignen sich kohlenstoffhaltige Adsorbentien (z. B. Kohlenstoffmolekularsiebe, Aktivkohlen und -kokse) aufgrund ihres hydrophoben Charakters zur Aufnahme von organischen und unpolaren Verbindungen (z. B. Teere) (Mersmann et al. 2005).

Für die experimentelle Untersuchung der Teerfeinreinigung wurde im Rahmen des Verbundvorhabens eine Versuchsanlage am ZSW aufgebaut. Der Testaufbau ermöglicht dabei die Ermittlung der Teerbelastung von Aktivkohle-Adsorbentien in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur und der Wasserdampfsättigung. Durch eine kontinuierliche Messung des Produktgases mittels eines Fourier-Transformation-Infrarot-Spektrometers (FTIR) wurde der Adsorptionsvorgang bewertet.

Abbildung 5 zeigt verschiedene Durchbruchkurven von Phenol über einer Aktivkohle-Adsorbentenschüttung für verschiedene Temperaturen und trockenes und befeuchtetes Gas bei einer Strömungsgeschwindigkeit von ca. 4 m/s und einem Phenolgehalt am Eintritt von 116 ppm im Gas.

Es zeigt sich, dass die Teeraufnahme durch Wasserdampf, der nach der Biodieselwäsche im AER-Produktgas enthalten ist, nicht gehemmt wird und dass ab einer Temperatur von ca. 40 °C im Reaktionsraum das Adsorptionsvermögen reduziert wird. Auf Basis der experimentellen Untersuchungen konnte eine Auslegunggrundlage bezüglich der Auswahl von geeigneten Aktivkohle-Adsorbentien, der Größe und des Verbrauchs des erforderlichen Schüttbetts sowie zielführender Betriebsparameter abgeleitet werden.

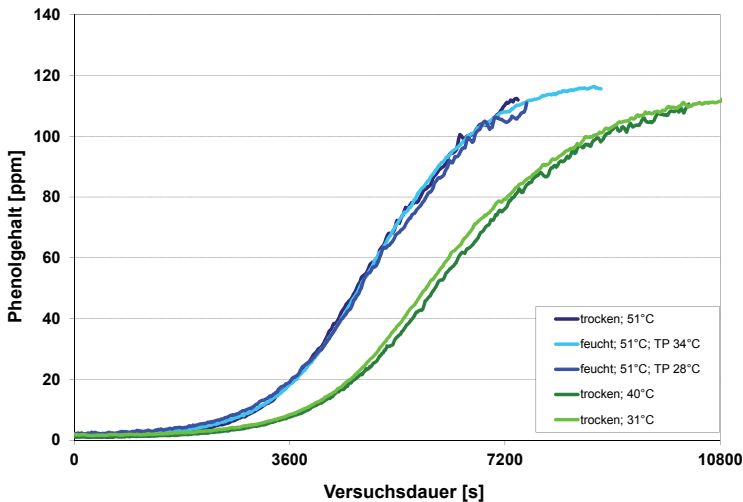


Abbildung 5: Einfluss der Betriebstemperatur und der Wasserdampfsättigung auf die Teeraufnahme (Phenol) einer Aktivkohle-Adsorbentenschüttung (zylindrische Pellets; Einwaage = 2,2 g; Mikroporendurchmesser und -anteil: 0,2 bis 1 nm und 0,478 ml/g; Makroporendurchmesser und -anteil: 1 bis 25 nm und 0,191 ml/g)

Effizienz der SNG und H₂-Erzeugung aus AER-Produktgas

Auf Basis der experimentellen Ergebnisse wurden Massen- und Energiebilanzen für die Erzeugung von SNG (i. W. CH₄) und regenerativem Wasserstoff (H₂) aus AER-Produktgas ermittelt. Als zentrales Werkzeug für die Prozess-Simulation wird am ZSW die kommerziell zugängliche Software IPSEpro (Integrated Process Simulation Environment) der Firma SimTech Simulation Technology in Graz (Österreich) eingesetzt (Pröll 2008). Ziel der Prozess-Simulation war die Verschaltung vielversprechender Produktgasaufbereitungsketten zur Ermittlung von Wirkungsgraden. Hierzu wurden verschiedene Heiß- und Kaltgasreinigungskonzepte inkl. nachgeschalteter Gaskonditionierung (Druckwechseladsorption zur H₂-Erzeugung und Methan-Syntheseinheit zur Bereitstellung von SNG) verschaltet. Auf eine zusätzliche Steigerung der H₂-Ausbeute durch die Einbindung einer Wasser-Gas-Shift-Stufe zur Konversion von CO und H₂O zu CO₂ und zusätzlichem H₂ oder einer Nachreformierung von z. B. CH₄ wurde aufgrund der hohen gemessenen H₂-Gehalte im AER-Produktgas verzichtet (Abbildung 3).

Die Simulationen ergaben, dass aus 100 kWh AER-Produktgas ca. 88 kWh SNG oder etwa 36 kWh H₂ (für eine H₂-Abtrenneffizienz von 70 % bei der Druckwechseladsorption) erzeugt werden können. Bei der Erzeugung von H₂ entstehen zusätzlich ca. 24 kWh Strom durch die Verbrennung von prozessbedingtem Spülgas der Druckwechseladsorption. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die vorgeschaltete AER-Biomassevergasung ohne Biomassetrocknung ebenfalls einen entsprechenden energetischen Kaltgaswirkungsgrad $\geq 70\%$ aufweist (Brellocks et al. 2009, Pröll/Hofbauer 2008). Auf Basis dieser Annahme sind Wirkungsgrade $\geq 62\%$ für die SNG-Erzeugung bzw. $\geq 25\%$ für die H₂-Erzeugung aus Biomasse möglich. Wird eine Biomassetrocknung vorgeschaltet sind noch größere Wirkungsgrade von der Biomasse zum jeweiligen Produkt möglich. Darüber hinaus fallen in einer AER-Gesamtanlage zusätzliche, in einem ORC-Prozess zur Stromerzeugung nutzbare Wärmeströme an, was wiederum den Wirkungsgrad zusätzlich erhöht.

Zusammenfassung und Fazit

Mit der AER-Biomassevergasung steht eine vielseitige Technologie vor dem Markteintritt. Im Rahmen des gemeinsam vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (AZ: 4-4587.2-155) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ: 03KB011) geförderten Verbundprojektes „FuE-Plattform „Biomass-to-Gas“ (BTG) - Energetische Nutzung biogener Reststoffe mit AER-Technologie“ wurde die AER-Biomassevergasung zur Strom- und Wärmeerzeugung technisch bis zur Marktreife entwickelt. Jedoch kann eine Vergasungsanlage unter Berücksichtigung des Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG 2012) derzeit nur unter günstigen Standortbedingungen wirtschaftlich betrieben werden (Brellocks et al. 2012).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Einsetzbarkeit von mineralstoffreichen Restbiomassesorten bei der AER-Biomassevergasung an einer 20 kW_{th}-Laborwirbelschichtanlage erfolgreich demonstriert werden konnte. Für alle eingesetzten Biomassearten wurde eine hohe Produktgasqualität erzielt. Ein Aufschmelzen des CaO-Gemischs bzw. Betriebs-

Störungen durch Ablagerungen konnten selbst bei Biomassetypen mit einem Aschegehalt $> 10 \text{ Ma.-%}$ nicht beobachtet werden. Die Teerreformierung mit schwefelresistenten Katalysatoren ermöglicht die Heißgasreinigung von schwefelbeladenen Synthesegasen (z.B. AER-Produktgas). Im Gegensatz zur Teerabscheidung (z.B. mittels Waschverfahren) kann die im Teer enthaltene Energie somit effizient genutzt werden. Für eine Teerfeinreinigung wurde eine Auslegungsgrundlage auf Basis von Aktivkohle-Adsorbentien abgeleitet. Aufgrund des hohen H_2 -Gehalts sowie der adaptierten Gaszusammensetzung durch die integrierte CO_2 -Abtrennung eignet sich das AER-Produktgas sowohl für eine direkte SNG-Erzeugung als auch für eine Abtrennung von regenerativ erzeugtem H_2 .

Literaturverzeichnis

Brellochs, J.; Marquard-Möllenstedt, T.; Steiert, S.; Specht, M.: Wirtschaftlichkeit und Rahmenbedingungen der AER-Biomassevergasung. In: DGMK-Tagungsbericht, Konversion von Biomassen, Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V., 2012, S. 101-108 – ISBN 978-3-941721-24-1

Brellochs, J.; Marquard-Möllenstedt, T.; Zuberbühler, U.; Specht, M.; Koppatz, S.; Pfeiffer, C.; Hofbauer, H.: Stoichiometry adjustment of biomass steam gasification in dfb process by in situ CO_2 absorption. International Conference on Poly-Generation Strategies (2009) Vienna.

Mersmann, A.; Kind, M.; Stichlmair, J.: Thermische Verfahrenstechnik: Grundlagen und Methoden, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, S. 486 – ISBN 3-540-23648-1

Nitsch, J.; Pregger T.; Naegler T.; Heide D.; De Tena, D.L.; Scholz, Y.; Nienhaus, K.; Gerhardt, N.; Sterner, M.; Trost, T.; von Oehsen, A.; Schwinn, R.; Pape, C.; Hahn, H.; Wickert, M.; Wenzel, B.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Im Auftrag des BMU, DLR Stuttgart, Fraunhofer-IWES Kassel, IFNE Teltow, 2012, S. 83.

Koppatz, S.; Pfeifer, C.; Rauch, R.; Hofbauer, H.; Marquard-Möllenstedt, T.; Specht, M.: H_2 rich product gas by steam gasification of biomass with in situ CO_2 absorptoin in a dual fluidised bed system of 8 MW fuel input. In: Fuel Processing Technology Bd. 90 (2009), S. 914-921.

Obernberger, I.: Thermische Nutzung fester biogener Brennstoffe, In: VDI-Schriftenreihe „Regenerative Energien in Ungarn und Deutschland“, VDI-Verlag GmbH (Hrsg.), 2000, S. 59-101 – ISBN 3-931384-32-2

Poboss, N.; Zieba, M.; Steiert, S.; Brellocks, J.; Specht, M.: Experimentelle Untersuchung der Einsetzbarkeit mineralstoffreicher Biomassesorten bei der AER-Biomassevergasung. In: Thrän, D.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): Konferenzband Energetische Biomassenutzung: Neue Technologien und Konzepte für die Bioenergie der Zukunft in Berlin 2012 (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 09), Leipzig 2013. S. 338-348.

Pröll, T.; Rauch, R.; Aichernig, C.; Hofbauer, H.: Fluidized Bed Steam Gasification of Solid Biomass - Performance Characteristics of an 8 MW_m Combined Heat and Power Plant. In: International Journal of Chemical Reactor Engineering Bd. 5, 2007, A 54.

Pröll, T.; Hofbauer, H.: H_2 rich syngas by selective CO_2 removal from biomass gasification in a dual fluidized bed system - Process modelling approach. In: Fuel Processing Technology Bd. 89 (2008), S. 1207-1217.

Pröll, T.; Hofbauer, H.: Development and Application of a Simulation Tool for Biomass Gasification Based Processes. In: International Journal of Chemical Reactor Engineering Bd.6, 2008, A 89.

Handlungsempfehlungen für kleine Holzvergasungsanlagen

Sebastian Kilburg, Wolfram Schöberl

Vorhaben: Optimierung der energetischen Biomassenutzung durch Qualitätsanalyse für Holzheizwerke und Handlungsempfehlungen für kleine Holzvergasungsanlagen, AP 1

FKZ-Nr.: O3KB012

Laufzeit: 01.04.2009 – 31.07.2011

Zuwendungssumme: 172.963 €

Koordination:

C.A.R.M.E.N. e.V.

Schulgasse 18, 94315 Straubing

www.carmen-ev.de



Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/728478838.pdf>

Kontakt:

Sebastian Kilburg

Telefon: 09421 960-300

E-Mail: contact@carmen-ev.de

Sebastian Kilburg (Projektleiter):

Holzvergasung, funktionierte' schon im zweiten Weltkrieg – doch die Zeiten haben sich geändert. Was ist also der derzeitige technische Stand bei kleinen Holzvergasungsanlagen, welche Betriebserfahrungen liegen vor und wie lassen sich Konzepte einfach aber umfassend beurteilen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wurde der Stand der Technik bei kleinen Holzvergassungsanlagen ermittelt und Betreiber zu ihren Erfahrungen befragt.

Aufbauend darauf wurden Handlungsempfehlungen für mögliche Kapitalgeber entwickelt, die durch eine umfassende Checkliste eine Konzeptprüfung wesentlich vereinfachen sollen.

Die Ergebnisse stehen der Öffentlichkeit in Form einer Website (www.holzgas-info.de) und einer 35-seitigen Broschüre zur Verfügung.

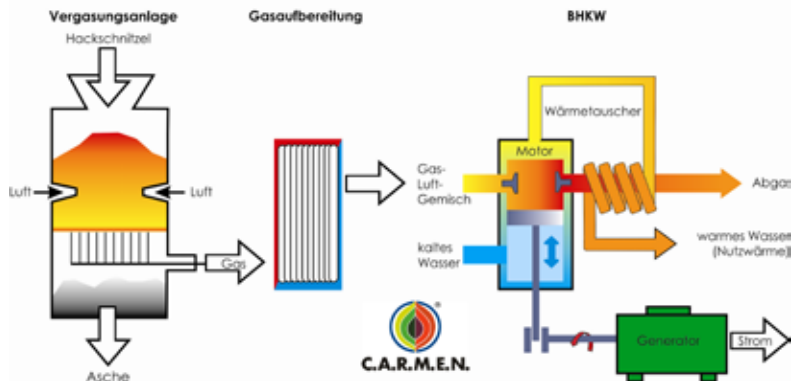
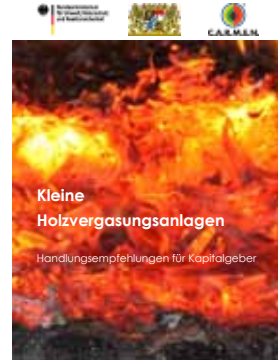


Abbildung 1: Schema einer Holzvergassungsanlage

Projektbeschreibung

Hintergrund und Zielstellung

Die Senkung des Energieverbrauches und die Nutzung erneuerbarer Energien sind für die zukünftige Entwicklung unserer Umwelt von maßgeblicher Bedeutung. Nicht nur die Einsparung von CO₂-Emissionen sondern auch die Erhöhung der Versorgungssicherheit, die Schonung von fossilen Ressourcen und die Stärkung der regionalen wirtschaftlichen Entwicklung können dabei beachtet werden.

Tatsächlich ist es insbesondere in den letzten zehn Jahren gelungen, die Energieproduktion aus Biomasse, Sonne, Wasser und Wind deutlich zu steigern. Alleine in den Jahren 2002 bis 2012 hat sich der Anteil der Erneuerbaren am Primärenergieverbrauch in Deutschland vervierfacht.

Die energetische Verwertung von Biomasse nimmt mit derzeit etwa 65 % den größten Anteil an der Endenergiebereitstellung aus regenerativen Quellen ein. Im Wärmebereich beträgt ihr Anteil sogar über 90 %, wobei der überwiegende Anteil der Wärmeproduktion aus Holz erfolgt. Zur regenerativen Strombereitstellung trägt feste Biomasse lediglich zu etwa 9 % bei, die vor allem in vergleichsweise großen Biomassekraftwerken verwertet wird. Dort werden in der Regel Dampfturbinen mit relativ geringen elektrischen Wirkungsgraden eingesetzt, während die Abwärme häufig nur teilweise oder gar nicht genutzt wird.

Es wird jedoch schon seit vielen Jahren nach Möglichkeiten gesucht, Strom aus fester Biomasse in kleinen Anlagen mit hohem Wirkungsgrad zu erzeugen. Dies würde vor allem eine sinnvolle Abwärmenutzung vereinfachen. Die Entwicklungsbestrebungen für die Kraft-Wärme-Kopplung mit Holz im kleinen Leistungsbereich greifen auf Dampfturbinen, Dampfmaschinen, ORC-Anlagen und Stirlingmotoren zurück. Ein weiterer Weg, der dabei verfolgt wird, ist die thermochemische Vergasung von Holz mit anschließender Nutzung des Produktgases („Holzgas“) in einem Gasmotor, vereinfachend auch Holzvergasung genannt.

Die Technologieentwicklung im Bereich der Holzvergasung wird sowohl von Forschungsinstitutionen als auch von privaten Firmen vorangetrieben. Der erreichte Stand hinsichtlich einer Gebrauchstauglichkeit unterscheidet sich allerdings von Anlage zu Anlage deutlich. Das betrifft sowohl Automatisierungsgrad und Zuverlässigkeit der Anlagen als auch Sicherheitsaspekte sowie Umweltfragen wie Emissionen oder Abwasserbelastung.

Ziel des Projektes war es daher, die Weiterentwicklung der Holzvergasung zu einer erprobten Technologie durch einen Leitfaden für potentielle Kapitalgeber zu unterstützen. Durch diesen Leitfaden soll Interessierten ein Einblick in die Möglichkeiten und Chancen der Holzvergasung gegeben werden, der ihnen dabei helfen soll, eine mögliche Investition fundiert beurteilen zu können.

Dazu war es notwendig, sich einen Überblick über die bestehenden Anlagen und deren Kennzahlen zu verschaffen. Die Auswertung der Ergebnisse lieferte dann die Grundlage für die Broschüre „Kleine Holzvergasungsanlagen - Handlungsempfehlungen für Kapitalgeber“. Diese gibt zu Beginn einen Einblick in die Technik der Holzvergasung, der sowohl die Möglichkeit bietet, sich auf einige Kernaussagen zu konzentrieren als auch sich etwas eingehender mit den technischen Hintergründen zu befassen. Anschließend werden ausführliche Handlungsempfehlungen für mögliche Kapitalgeber gegeben, die eine konkrete Projektprüfung anhand einer detaillierten Checkliste möglich machen.

Methoden

In der ersten Phase des Projektes wurden in der zweiten Hälfte des Jahres 2009 auf der Basis von C.A.R.M.E.N. e.V. vorliegenden Kontaktdaten (Herstellerrfirmen und Betreiber) Adressen von thermochemischen Holzvergasungsanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 250 kW zusammengestellt. Parallel dazu wurde ein Fragebogen entwickelt, mit dem technische und ökonomische Parameter sowie Betriebskennwerte der Anlagen sowie spezielle eigene Entwicklungen der Betreiber erfasst werden können. Sowohl zur Steigerung des Rücklaufs als auch zur Konkretisierung und genaueren Beurteilung der gemachten Angaben wurden alle Anlagenbetreiber, die keine Ablehnung signalisierten, telefonisch kontaktiert und befragt. Im Ergebnis konnten 11 von 51 ausgefüllte Fragebögen erreicht werden.

Die Inbetriebnahmen der erfassten Anlagen erstreckten sich über eine größere Zeitspanne, wodurch in den Ergebnissen unterschiedliche Entwicklungsstände widerspiegelt wurden. Für die Gasreinigung der Anlagen wurden erwartungsgemäß überwiegend Zykclone und Filter sowie in drei Fällen Wäscher eingesetzt. Im Wesentlichen wurden durch die Gasreinigungsanlagen Partikel abgeschieden und nur bei vier Holzvergäsern existierten sekundäre Maßnahmen zur Entfernung von Teer aus dem Holzgas.

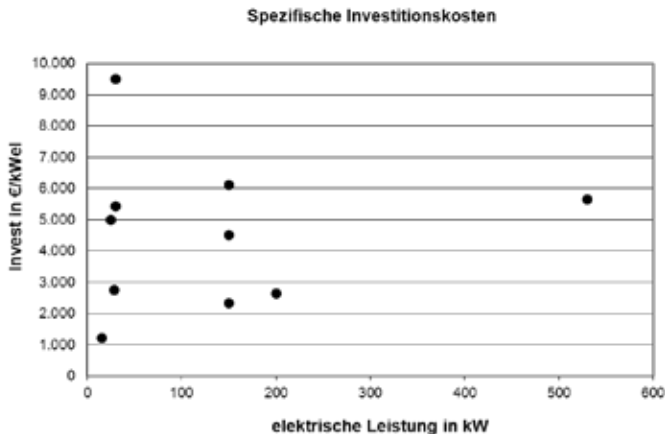


Abbildung 1: Spezifische Investitionskosten bei kleinen Holzvergasanlagen

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, streuen die spezifischen Investitionskosten der Vergasanlagen sehr stark. Als angesichts der geringen Anzahl und der hohen Schwankungsbreite der Rückmeldungen sicherlich nur eingeschränkt verwendbarer Mittelwert ergab sich 4.515 Euro je Kilowatt installierter elektrischer Leistung.

Der für den Betrieb der Anlagen erforderliche Arbeitseinsatz ließ sich trotz der geringen Anzahl an Werten mittels einer Trendlinie so gut abbilden, dass ein Bestimmtheitsmaß von 0,715 erreicht wird. Die daraus abzulesenden Werte sinken von über 30 Arbeitskraftstunden (Akh) pro Jahr und pro Kilowatt elektrischer Leistung bei Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 15 Kilowatt auf etwa $5 \text{ Akh/a} \cdot \text{kW}_{el}$ bei Anlagen mit einer installierten Leistung von 500 Kilowatt (Zwei-Modul-Anlage).

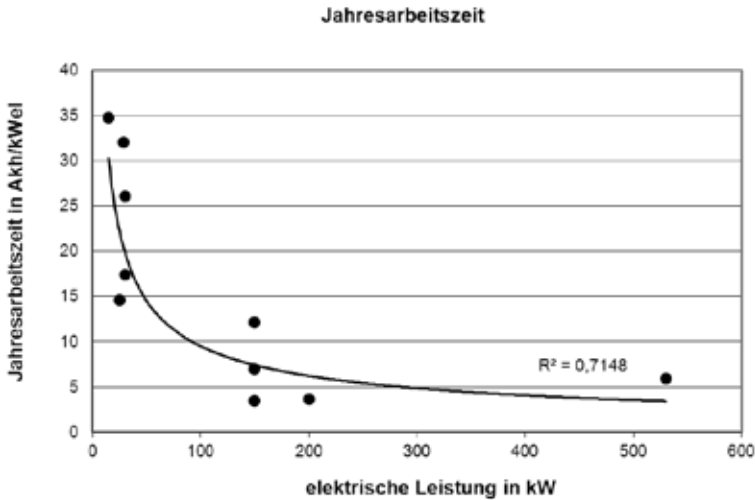


Abbildung 2: Spezifischer Arbeitszeitaufwand beim Betrieb von Holzvergasungsanlagen

Im Folgenden werden die innerhalb der Broschüre veröffentlichten Handlungsempfehlungen zusammengefasst dargestellt. Sie richten sich an Kapitalgeber, die Anlagen finanzieren wollen, aus deren Betrieb Renditeerwartungen befriedigt werden sollen. Ausdrücklich sollen diese Anlagen damit nicht im Bereich von Forschung und Entwicklung angesiedelt sein.

Handlungsempfehlungen

Grundvoraussetzung für eine qualifizierte Bewertung einer Holzvergasungsanlage ist die Vorlage eines Konzeptes, in dem alle für den Betrieb einer Anlage erforderlichen Komponenten einbezogen sind. Die Unterlagen sollten stets so eingefordert werden, dass sich ein unabhängiger Dritter ein klares Bild über die Konzeption und die Rahmenbedingungen machen kann.

Allgemeine Konzeptangaben

Von größter Wichtigkeit für die Bewertung eines Konzeptes ist die Einschätzung der wirtschaftlich tragbaren Dauerbetriebsfähigkeit einer Anlage. Diese lässt sich bei Firmen, die Anlagen im Marktbereich anbieten, anhand von Referenzen von Demonstrationsanlagen und/oder bereits verkauften Anlagen überprüfen. Von der Herstellerfirma sollten Ansprechpartner für Anlagen benannt werden, die sowohl hinsichtlich der Leistungsgröße als auch der Einsatzstoffe dem vorgesehenen Projekt entsprechen. Hinweise auf den Erfolg dieser

Referenzanlagen können Abrechnungen der Vergütungen für den erzeugten und ins Netz eingespeisten Strom geben, jedoch muss berücksichtigt werden, dass damit keine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit des Betriebs möglich ist.

Hinsichtlich der potenziellen Emissionsbelastung sollte neben der Konzentration von Schadstoffen im Abgas auch die örtliche Situation der Anlage (Umgebungsbebauung) geklärt sein. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz ist der Betreiber gesetzlich dazu verpflichtet, nach dem Stand der Technik vermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen zu verhindern und unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen zu minimieren.

Es sollte kurz erläutert werden, ob bereits ein Hauptplaner für die Gesamtanlage benannt werden kann, welche Planungsergebnisse schon vorliegen und ob bereits Angebote von Firmen für Teilgewerke eingeholt wurden.

Durch frühzeitigen Kontakt mit der Genehmigungsbehörde sollte deren Einschätzung hinsichtlich der Genehmigungssituation abgeklärt worden sein und mit dem Konzept vorgelegt werden. Grundsätzlich gilt, dass sich die Genehmigungspraxis in Deutschland zwischen den Bundesländern und teilweise auch innerhalb der Bundesländer unterscheidet.

Die Ergebnisse einer Recherche bezüglich einer möglichen öffentlichen Investitionsförderung sollten dargestellt und auch in der wirtschaftlichen Konzeption berücksichtigt werden. Gleiches gilt für eventuelle zinsvergünstigte Darlehen.

Die Betreiber von Stromnetzen sind nach dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) verpflichtet, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien an ihr Netz anzuschließen. Da dieser Netzanschluss jedoch bestimmten Bedingungen unterliegt, sollte das Konzept schon diesbezügliche Rückmeldungen des Netzbetreibers enthalten.

Weiterhin sollten Angaben über mögliche und beabsichtigte Versicherungsverträge für die Anlage gemacht werden.

Technische Konzeption

Die Angaben zur technischen Konzeption müssen immer im Zusammenhang mit den geprüften Referenzen gesehen werden. Durch Referenzen nicht belegte Angaben sind immer kritisch zu hinterfragen.

Aufgrund der Empfindlichkeit einer Holzvergasungsanlage in Bezug auf die eingesetzten Hackschnitzel sollte das technische Konzept bei der Hackschnitzelversorgung ansetzen. Sowohl die exakte Qualität der vorgesehenen Hackschnitzelfractionen als auch deren Mengenanteile und Herkunft sollten angegeben werden. Der Hackschnitzelbezug sollte im Normalfall durch Brennstofflieferungsverträge, mindestens aber durch Absichtserklärungen möglicher Lieferanten belegt werden. Alternativ kann durch Abschätzung der jährlich zur Verfügung stehenden Menge eine Versorgung aus betreibereigenen Wäldern hergeleitet werden. Dabei sollte ggf. auf die Emissionen einer Hackschnitzeltrocknung und auf den geplanten Umgang mit den Resten aus einer Hackschnitzelsiebung (Fein- und/oder Grobfractionen) eingegangen werden. Das Hackschnitzellager selbst sollte hinsichtlich Konstruktionsart, Größe und Belüftungskonzept dargestellt werden.

Die Beschreibung der Vergasungsanlage sollte außer den Angaben zu Hersteller, Herstellerbezeichnung, Feuerungswärmeleistung, Hackschnitzeldurchsatz und Produktgaserzeugung (Menge pro Stunde, Zusammensetzung und Heizwert) auch eine Darstellung der

Funktionsweise mit Benennung des Vergasungsmittels enthalten. Besonders ausführlich sollte das Konzept der Gasaufbereitung dargelegt werden. Dabei sollten nicht nur Aufbau und Funktion der einzelnen Anlagenkomponenten zur Gaskühlung und -reinigung, sondern auch deren Zusammenspiel erläutert werden. Insbesondere hier sind aussagekräftige Referenzen sehr wichtig. Die Gasverwertung kann anhand von BHKW-Hersteller, Herstellerbezeichnung, Art des BHKW, gewünschtem Druck- und Temperaturniveau des Gases am Eintritt in das BHKW, Feuerungswärmeleistung sowie elektrischer und thermischer Nennleistung beschrieben werden. Die vom BHKW-Hersteller geforderte Gasqualität (v. a. Heizwert, Teer- und Staubgehalt) muss zu den Eigenschaften des Gases der vorgesehenen Gasaufbereitung passen.

Für die Gesamtanlage sollten die anfallenden Reststoffe beschrieben und quantifiziert werden. Dies bezieht sich sowohl auf die vorher schon erwähnten Hackschnitzelreste aus einer möglichen Siebanlage als auch auf Asche, Holzkohle, Kondensate, Waschwasser und Filterstäube. Es sollte dargestellt werden, welche Sicherheitseinrichtungen an der Gesamtanlage vorgesehen sind. Dies geht beispielhaft von einem Fallschutz am Hackschnitzellauger über Explosionsschutz an der Vergasungsanlage bis zu einer Gasfackelanlage, über die außer beim An- und Abfahrbetrieb auch bei BHKW-Ausfall die gesamte Gasmenge nachverbrannt werden kann.

Betrieb der Anlage

Es sollte der geplante hauptverantwortliche Betreiber der Anlage genannt und kurz die Qualifikation des Betreibers für den Umgang mit der Holzvergasungsanlage beschrieben werden.

Eine entscheidende Frage für die technische Umsetzbarkeit und die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens ist, ob für die Anlage eine strom- oder wärmegeführte Betriebsweise vorgesehen ist. In diesem Zusammenhang sollten auch die Ergebnisse der Kalkulation der Vollbenutzungsstunden wiedergegeben werden. Um bei einem wärmegeführten Betrieb der Anlage ausreichend hohe Vollbetriebsstunden erreichen zu können, sollte die Anlage dem Wärmebedarf entsprechend angepasst werden. Abgeleitet aus den vorhergehenden Angaben sollte abgeschätzt werden, wie viel Arbeitszeit für den Betrieb der Anlage notwendig sein wird.

Wärmeverwertung

Wenn die Wärme ganz oder teilweise außerhalb der Anlage genutzt wird, muss für die Berechnung der Stromvergütung geklärt sein, ob diese Nutzung den Anforderungen des EEG genügt.

Falls ein Wärmeverkauf im Sinne einer Lieferung an zahlende Kunden vorgesehen ist, sollte im Konzept der Verhandlungsstatus für diese Lieferbeziehung beschrieben und ggf. durch Vorlage entsprechender Dokumente belegt werden. Für die einzelnen Wärmeabnehmer sollten jeweils die Anschlussleistung und der jährliche Wärmebedarf angegeben werden. Die Wärmeabnehmer sollten auf einem maßstäblichen Lageplan eingezeichnet sein, der außerdem den Verlauf des geplanten Nahwärmenetzes enthält.

Wird Wärme über Nahwärmenetze verteilt, kommt es unweigerlich zu Wärmeverlusten.

Spezifisch fallen die Verluste umso stärker ins Gewicht, je weniger Wärme über das Netz genutzt wird. Als Zielwert für ein effizientes Wärmenetz sind Netzverluste von unter 10 % im Endausbau anzustreben.

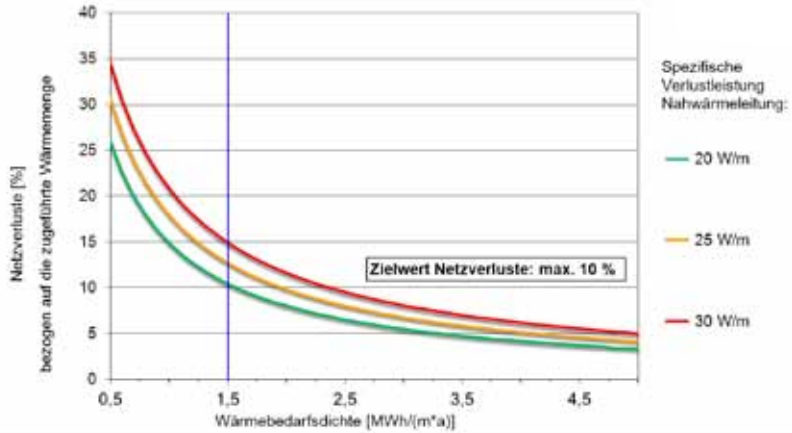


Abbildung 3: Netzverluste in Abhängigkeit von der Wärmebedarfsdichte

Wirtschaftliche Konzeption

Kalkulation der Investitionskosten

Den größten Kostenblock stellen in der Regel die Investitionen für die Errichtung der Anlage im weitesten Sinne dar. Die Investitionen für bauliche Anlagen sollten dabei so gering wie möglich gehalten werden. Genauestens berücksichtigt werden sollten selbstverständlich alle Erfordernisse an die Anlagensicherheit im Allgemeinen und den Brandschutz im Speziellen.

Aus der Befragung von Betreibern kleiner Holzvergasungsanlagen ergaben sich im Mittel spezifische Investitionskosten von etwa 4.500 Euro pro kW elektrischer Leistung. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten für die Wärmeverwertungstechnik hierin nicht enthalten sind.

Außer den Bau- und Anlagenkosten sollten Grundstückskosten, Netzanschlusskosten, Planungs- und Genehmigungskosten sowie Inbetriebnahmekosten berücksichtigt werden.

Kalkulation der Ausgaben

Die kapitalgebundenen Kosten bestehen aus Kapitalkosten und Instandsetzungskosten. Für die Berechnung dieser beiden Kostenpositionen werden Nutzungsdauern, Kapitalzinssätze sowie Instandsetzungskostensätze für die verschiedenen Anlagenteile benötigt. Die kapitalgebundenen Kosten entstehen unabhängig davon, ob die Anlage in Betrieb ist oder stillsteht.

Im Gegensatz dazu fallen die verbrauchsgebundenen Kosten nur dann an, wenn die Anlage Strom und Wärme produziert. Sie umfassen den für den Anlagenbetrieb notwendigen Eigenstrombedarf, Kosten für sonstige Betriebsstoffe (z. B. Zündöl für den Betrieb eines Zündstrahl-BHKW) und für den Umgang mit Reststoffen, werden aber in der Regel dominiert von den Hackschnitzelkosten. Bei der Betreiberbefragung ergaben sich Anteile der Hackschnitzelkosten an den Gesamtkosten von deutlich über 50 % mit einem Mittelwert von ca. 75 %. Die Preisentwicklung bei Hackschnitzeln zeigte zwar in den vergangenen Jahren im Gegensatz zum Ölpreis keine großen Ausschläge, aber doch eine deutliche Aufwärtsentwicklung.



Abbildung 4: Preisentwicklung bei Holzbrennstoffen im Vergleich zu Heizöl und Erdgas [Bild 5]

Aus dem Bereich der betriebsgebundenen Kosten sollten die Personalkosten (siehe Kapitel „Methoden“), die Wartungskosten und ggf. Zählerkosten in die Kalkulation einbezogen werden.

Nicht mit dem eigentlichen Betrieb der Anlage verbundene Kosten können als sonstige Kosten bezeichnet werden. Dazu gehören mögliche Rückbaukosten, Pachtkosten, Verwaltungskosten, Buchführungskosten und Versicherungskosten sowie alle Kosten, die nicht anderweitig zugeordnet werden können.

Kalkulation der Einnahmen

Stromverkauf

Der wichtigste Bestandteil auf der Einnahmeseite ist die durch das EEG garantierte und durch den Stromnetzbetreiber ausgezahlte Vergütung für den eingespeisten Strom. Da das EEG im Bereich der Biomasse, in dem auch die Vergütungshöhen für die Holzvergasung geregelt werden, hinsichtlich der Vergütungsbestandteile modular und mit zunehmender Leistung bzw. eingespeister Strommenge auch degressiv aufgebaut ist, lässt sich für in Holzvergasungsanlagen produzierten Strom kein allgemeingültiger Satz festlegen. Wird ein

bestimmter Umfang an Wärmenutzung nicht erreicht, erlischt der Anspruch auf EEG-Vergütung sogar vollständig. Kleine Holzvergasungsanlagen fallen in der Regel in die Vergütungsstufe für Anlagen bis zu einer Bemessungsleistung von 150 Kilowatt elektrischer Leistung und erhalten beim Einsatz von Waldrestholz den Bonus der Einsatzstoffvergütungsklasse I.

Wärmeverkauf

Holzvergasungsanlagen im kleinen Leistungsbereich werden mit dem Ziel errichtet, neben dem Strom auch große Anteile der Wärme aus dem Blockheizkraftwerk zu nutzen. Während bezüglich der eingespeisten Strommengen das EEG den Vergütungsrahmen vorgibt und absichert, muss sich der Anlagenbetreiber hinsichtlich der erzeugten Wärmemengen selbst um eine möglichst lukrative Vermarktung kümmern. Die betriebswirtschaftliche Auswertung der Betreiberbefragung hat gezeigt, dass die Erzielung von nennenswerten Wärmeverkaufseinnahmen ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg des Anlagenkonzepts ist und daher unbedingt bei der Planung berücksichtigt werden sollte. Hierbei sollte auf eine möglichst kontinuierliche Abnahme der Wärmeenergie und, falls ein Wärmenetz errichtet wird, auf eine möglichst hohe Wärmebedarfsdichte geachtet werden.

Beitrag zu den Nachhaltigkeitsaspekten

Die Broschüre „Kleine Holzvergasungsanlagen - Handlungsempfehlungen für Kapitalgeber“ ist in erster Linie auf ökonomische Nachhaltigkeit ausgelegt. Sie soll möglichen Kapitalgebern dabei helfen, Fehlinvestitionen in die Holzvergasungsbranche zu vermeiden. Durch die Lenkung von Investitionen in erfolgreiche Produkte verstärkt sich aber natürlich auch die ökologische und soziale Nachhaltigkeit. Nur funktionierende Holzvergasungsanlagen können Strom und Wärme aus Biomasse herstellen und somit die Klimabilanz der Energieerzeugung in Deutschland verbessern. Und gerade kleinere Unternehmen wie landwirtschaftliche Betriebe, die häufig Interesse an kleinen Holzvergasungsanlagen zeigen, stehen bei einer Fehlinvestition in dieser Größenordnung schnell vor dem wirtschaftlichen Bankrott, der dann auch starke soziale Folgen nach sich ziehen würde.





Foto: A. Gröber, DBFZ

Holzkaskadennutzung – Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergienutzung aus Holz

Bernhard Wern¹, Sven Gärtner², Frank Baur¹

Vorhaben: Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz – nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung

FKZ-Nr.: O3KB016

Laufzeit: 01.01.2009 - 30.04.2013

Zuwendungssumme: 513.850 €

Koordination:

¹ Institut für Zukunftssysteme gGmbH (IZES)
Altenkesseler Str. 17 (Geb. A1), 66115 Saarbrücken
www.izes.de

Projektpartner:

Internationales Institut für Wald und Holz NRW e.V.

Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/739250108.pdf>

² ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH

Kontakt:

Bernhard Wern
Telefon: +49 (0) 681 9762 174
E-Mail: wern@izes.de

Bernhard Wern (Projektleiter):

Die Nutzung von Holz als Energieträger ist nach derzeitiger Einschätzung – zumindest im Wärmemarkt – noch auf Jahrzehnte hin erforderlich. Heute gilt es jedoch, diesen Rohstoff intelligent zu nutzen. Hierzu müssen umfangreiche Anstrengungen zur nachhaltigen Mobilisierung und effizienten Nutzung des Rohstoffes Holz erfolgen. Auf Grund der Komplexität des Themas sind die damit verbundenen Arbeiten im Kontext der jeweiligen regional vorhandenen Rahmenbedingungen durchzuführen. Die Holzkaskadennutzung ist dabei eine Option, deren Grundlagen und Voraussetzungen zur erfolgreichen Umsetzung jedoch weiter ausgearbeitet und operationalisiert werden müssen.



Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt untersucht – am Beispiel des Saarlandes – die Möglichkeiten einer Region, aktiv eine nachhaltige Holzenergiestrategie zu gestalten. Hierzu wurden zunächst die noch nicht genutzten Holzpotenziale berechnet. Die Nutzung dieser Potenziale wurde anschließend hinsichtlich der Beeinflussung ökologischer und ökonomischer Merkmale bewertet. Dabei bildete die Analyse einer verstärkten Implementierung von Holzkaskadennutzungen einen Schwerpunkt der Untersuchungen. In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des Projektes die Hemmnisse eines Ausbaus derselben aufgezeigt und die Möglichkeiten einer Region ermittelt, durch eine intelligente Stoffstromlenkung die stoffliche Nutzung von Holz dennoch zu unterstützen. Die durchgeführten ökobilanziellen Betrachtungen stärkten dabei im Vergleich zur rein energetischen Nutzung – unter besonderer Berücksichtigung der Treibhausgasbilanzen – eindeutig den stofflichen bzw. kaskadierten Nutzungspfad. Ausnahmen bildeten lediglich stoffliche Holznutzungen, bei denen reststoffbasierte und energiearm herstellbare Alternativprodukte zur Verfügung stehen. Beide Wege, d. h. sowohl die stofflich/kaskadierte als auch die rein energetische Nutzung weisen jedoch hinsichtlich der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den jeweils angesetzten Referenzsystemen eindeutige Vorteile auf. Aufgrund der vorhandenen marktwirtschaftlichen Effekte lassen sich die erzielten Erkenntnisse im Sinne eines Ausbaus von Holz-Nutzungskaskaden allerdings nur sehr schwer in eine – erforderliche – regionale Strategie überführen. Soll die Kaskadennutzung gestärkt werden, bedarf es daher zusätzlicher Anreizmechanismen, die eine entsprechende Stoffstromlenkung bewirken – unter Berücksichtigung der erforderlichen energetischen Nutzung.

Hintergrund und Zielstellung

Laut dem Biomasseaktionsplan der Bundesregierung (BMELV/BMU 2010) sowie dem Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“ (BMU&BMWi 2012) soll der Anteil der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich im Jahr 2020 auf 14 % steigen. Davon trägt die Biomasse – angesichts der bisherigen Entwicklungen – den weitaus größten Anteil (im Jahr 2011 waren es 91,7 % des regenerativen Wärmeanteils von 11 %). Holzartige Biomasse stellt etwa 75 % der biogenen Brennstoffe im Wärmesektor (vgl. BMU 2012a). Auch im Strombereich soll laut Leitstudie der Ausbau der Stromerzeugung aus Holz gesteigert werden (DLR et al. 2012). Der aus den bisherigen Entwicklungen resultierende Holzbedarf für Energie betrug im Jahr 2011 etwa 30 Mio. t/atro.

Im Hinblick auf die generelle Verfügbarkeit von Holz sind im Bereich des Holzmarktes gleichzeitig folgende Tendenzen zu beobachten: Laut Holzmarktberichten des BMELV (2010) war Deutschland bis 2006 Nettorohholzexporteur. Seit 2007 hat sich dieses Bild gewandelt. Deutschland muss Rohholz importieren, um seinen Bedarf zu decken. Auch bei kumulativer Betrachtung der Handelsströme von Rohholz und verarbeitetem Holz war Deutschland lange Zeit ein Nettoexporteur von Holz. Seit 2010 weist Deutschland hier eine annähernd ausgeglichene Holzbilanz aus. Nach MANTAU et al. (2010) wird der Holzbedarf in den nächsten Jahren weiter ansteigen und bis 2030 – je nach Szenario – zu einer „Holzlücke“ von bis zu 73 Mio. m³ pro Jahr – allein in Deutschland – führen.

Vor dem Hintergrund dieser sich abzeichnenden Konkurrenzsituation um Rohstoffe und Flächen ergibt sich folgende Frage:

Wie könnte eine verantwortungsvolle Strategie aussehen, welche die beschriebenen Probleme berücksichtigt und alle Ebenen der Nachhaltigkeit beinhaltet?

Im Rahmen der Studie wird diese Leitfrage anhand der folgenden acht Teilaspekte unter besonderer Berücksichtigung der Effekte einer kaskadierten Holznutzung gegliedert.

1. Ist die Entwicklung einer regionalen Holzenergiestrategie unter Berücksichtigung der Effekte innerhalb der regionalen Systemgrenze sinnvoll?
2. Wie kann die regionale Versorgungssicherheit mit Holz vor dem Hintergrund der existierenden Konkurrenzsituation beurteilt werden?
3. Ist die Sicherung und Erhöhung des regionalen Holzangebotes möglich? Welche Rolle kann dabei die Holzkaskadennutzung spielen?
4. Wie viel Masse an Holz ist durch die Etablierung von Kurzumtriebsflächen regional unter Beachtung von Hemmnissen wie z. B. Naturschutzrestriktionen zu erwarten?
5. Welche Rolle spielt Kurzumtriebsholz, Altholz und Landschaftspflegeholz in der regionalen Holzbereitstellung? Können die jeweiligen Kontingente quantitativ und qualitativ sowohl den Ansprüchen der stofflichen als auch der energetischen Holzverwerter gerecht werden?
6. Welche ökobilanziellen Auswirkungen haben die unterschiedlichen Verwendungswege von Holz? Wie könnte die vermehrte Holzbereitstellung aus einem dendromasseoptimierten Waldbausystem aussehen und wie ist diese zu bewerten?
7. Welche sozioökonomischen Auswirkungen können sich durch die vermehrte Nutzung von Energieholz ergeben?
8. Wie kann eine Strategie zur Bereitstellung von Energieholz regional entwickelt werden? Welcher Netzwerksbedarf ist hierfür notwendig?

Ziel des hier beschriebenen Vorhabens ist es, eine Strategie für einen nachhaltigen Ausbau/eine nachhaltige Stabilisierung der Holzenergienutzung unter Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung zu formulieren und zu begründen. Diese Strategie sollte dabei neben dem Leitbild einer nachhaltigen Holzenergienutzung v. a. konkrete Handlungsempfehlungen für den regional angepassten Ausbau der Holzenergienutzung beinhalten. Chancen und Risiken wurden in diesem Zusammenhang herausgearbeitet und in die Strategie integriert. Die Holzkaskadennutzung – als eine von der Bundesregierung erkannte mögliche Lösung der Rohstoffproblematik (vgl. u. a. BMELV 2011) – wurde in besonderem Maße im Rahmen der Strategiebildung eingebunden.

Untersuchungsraum und Methoden

Die Entwicklung der Holzenergiestrategie orientiert sich am Prinzip der Nachhaltigkeit. Die vorhandenen Ressourcen sollten – in Anlehnung an von Carlowitz (1713) - so bewirtschaftet werden, dass eine kontinuierliche Nutzung möglich ist, die regional den größtmöglichen Nutzen bringt ohne aber globale Zusammenhänge zu vernachlässigen. Dabei ist eine ganzheitliche Sichtweise erforderlich. Unterschiedliche Herausforderungen und Akteure sind in die Entscheidungen einzubeziehen, um die Multifunktionalität der Landschaft und der Ressource Holz zu beurteilen und eine gemeinsame, an den Nachhaltigkeitszielen ausgerichtete Strategie herzuleiten. Im Projekt wurden diesbezüglich folgende **Analyseschritte** durchgeführt:

- 1) Analyse der in der Holzbereitstellung, der Holznutzung und der im Naturschutz tätigen Akteure
- 2) Stoffstromanalyse „Holz“ (Analyse des Stoffstromes vom Anfall bis zur Verwendung)
- 3) Analyse möglicher Hemmnisse und Restriktionen der Bereitstellung von Holz, der Ressourcenökonomie und der Holzverwendung
- 4) Untersuchungen der Umweltauswirkungen der verstärkten energetischen Nutzung von Holz unter Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung
- 5) Soziökonomische Analyse der Forst- und Holzwirtschaft im Untersuchungsgebiet
- 6) Erarbeitung einer Strategie der energetischen Holznutzung unter Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung
- 7) Daraus abgeleitete Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie

Die **Modellregion** des Projektes ist das Saarland. Bei der Auswahl der Modellregion war es wichtig, die Region als administrative Einheit zu betrachten. Nur in diesen Einheiten sind Daten über Arbeitsplätze oder forstliche Kenndaten gesichert zu erhalten. Das Saarland war daher als sehr kleines Bundesland für die Untersuchungen, insbesondere vor dem Hintergrund der Datenverfügbarkeit prädestiniert. Im Saarland sind außerdem die Holzwerkstoffindustrie sowie ein großes Heizkraftwerk mit NawaRo's als Inputmaterial vorhanden und es existiert eine lange Tradition in der Beheizung mit festen Brennstoffen. Neben dem Saarland wurden auch die Wechselbeziehungen zu angrenzenden Regionen betrachtet.

Der Wald als wichtiger Rohstofflieferant hat im Saarland mit ca. 33,4 % der Landesfläche eine bedeutende Stellung. Gemäß den Angaben der Forsteinrichtung nimmt der Wald eine Fläche von 93.180 Hektar (ha) ein (Saarforst Landesbetrieb, 2009). 41 % der Waldfläche ist im Eigentum des Landes (rd. 38.000 ha), 30 % der Waldfläche ist Kommunalwald (rd. 28.000 ha) und 29 % (rd. 27.000 ha) der Fläche ist Privatwald. Der Privatwald ist dabei größtenteils klein- und kleinststrukturiert, wobei es auch gut organisierte Forstbetriebsgemeinschaften gibt, die eine effektive Holznutzung im Privatwald ermöglichen.

Bioenergie-Projekte sind im Hinblick auf die erforderliche **Akteursbeteiligung** wesentlich komplexer aufgebaut als Vorhaben im Bereich anderer erneuerbarer Energien. Daher werden im Folgenden die vorhandenen Strukturen und die relevanten Schlüsselakteure identifiziert und im Sinne eines „Biomasse-Clusters“ eingeteilt. Die Einteilung erfolgt dabei entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten: Biomassebereitstellung, -konfektionierung, -konversion und -nutzung. Abbildung 1 zeigt die im Projekt untersuchten Aktionen und Akteure der Wertschöpfungskette Holzenergie, Tabelle 1 die thematische Einbindung verschiedener Akteure in die Hemmnisanalyse im Bereich der Nutzung von Holzenergie. Hemmnisse werden im Rahmen der Studie nach FRITSCHKE et al. (2004) in folgende Merkmale eingeteilt: ressourcenseitig, technisch, wirtschaftlich, administrativ und rechtlich, sozial, nachfragebedingt.

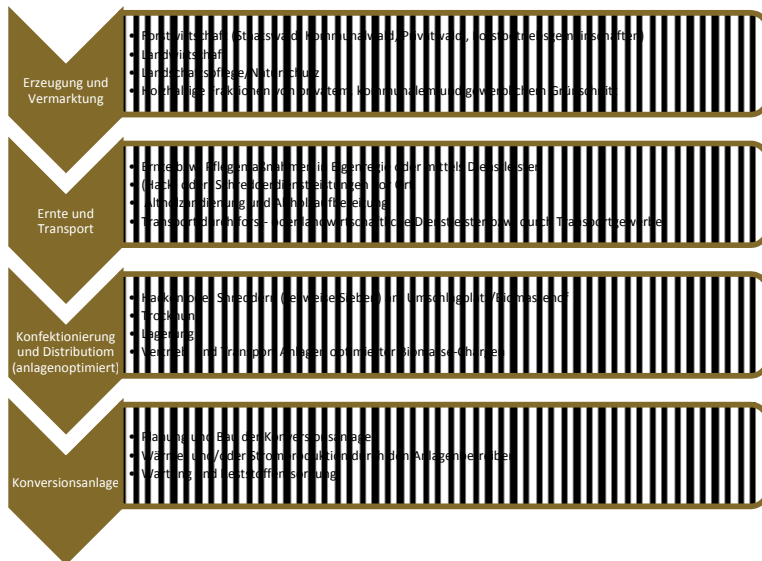


Abbildung 1: Produktionsprozess Holzenergie (Hackschnitzel) bzw. feste NawaRo-Biomasse

Tabelle 1: Wichtige Akteure im Rahmen einer Hemmnisanalyse

Organisation	Thematische Einbindung
BUND, NABU	Waldbewirtschaftung, KUF, Landschaftspflege, PR, Risikoanalyse
Landschaftspflegeringe u.ä.	KUF, Landschaftspflege, PR, Risikoanalyse
Jagdverbände	Landschaftspflege, PR, Risikoanalyse
Bürgerinitiativen	Themenspezifische Risikoanalyse
Energiegenossenschaften	Sicherung der Holzversorgung; Analyse der Ist-Situation der Holzverbrennung
Kommunale Verwaltungen; Landesforsten, Privatwaldbesitz	Analyse der Ist-Situation der Holzverbrennung, Ausbaupläne, Holzpreise, Waldbewirtschaftung, KUF
Ministerien	Waldbewirtschaftung, Landschaftspflege, Förderprogramme, naturschutzfachliche Bewertungen, PR
Schornsteinfegerinnung	Bereitstellung von Anlagendaten
Holzindustrie	Stoffstromlenkung, Holzpreise, Waldbewirtschaftung, Risikoanalyse

In der **Stoffstromanalyse** wurden folgende Fragen beantwortet:

- Wie viel Holz ist heute schon in Nutzung? Wo liegen die Rohstoffquellen des heute genutzten Holzes?
- In welchen Verwendungswegen wird das Holz genutzt?
- Welche zusätzlichen Potenziale im Bereich Waldholz, holzartiger Grünschnitt, Kurzumtrieb, Landschaftspflegeholz und Altholz gibt es noch?
- Würden diese Hölzer den „Druck auf den Rohstoff“ entschärfen, insbesondere auf den Rohstoff für die Holzwerkstoffindustrie?
- Liegen hier Lösungen für die verstärkte Nutzung in einer Holzkaskade?
- Ist eine zunehmende Holzkaskadennutzung im Untersuchungsraum möglich?
- Wie sehen Szenarien aus zur Nutzung der Holzenergie bis 2050?

Der im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchungen zugrunde gelegte **Potenzialbegriff** basiert auf einem „technisch-ökologischen“ Ansatz unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Einflüssen, z.B. in Form von Nutzungskonkurrenzen. In diesem Potenzialbegriff sind alle relevanten quantifizierbaren Restriktionen berücksichtigt. Quantifizierbar meint in diesem Zusammenhang, dass anhand verfügbarer Statistiken alle Faktoren, die eine Nutzung

von Holz aus dem Wald ausschließen und datenseitig berechenbar sind, vom theoretischen Dendromassepotenzial abgezogen wurden (Wenzelides 2009). Die einzelnen Holzherkünfte Forst, Abfallregime, Landschaftspflege und Kurzumtrieb wurden separat untersucht. Sie werden unter dem Begriff Dendromasse subsummiert. Dendromasse ist dabei Holz, welches „...in stofflichen, energetischen und chemischen Wertschöpfungsketten verwandt werden kann, sich aber aufgrund von Qualitätsmängeln (derzeit) nicht für die traditionellen höherwertigen Verwendungen von Holz (Möbel, Hausbau etc.) eignet.“ (Schulte 2007) Zur Berechnung der **Dendromassepotenziale** wurden Methoden von BAUR et al. (2010) sowie WENZELIDES/HAGEMANN (2007) angewendet und weiterentwickelt. In IZES (2012) sind insbesondere die innerhalb dieses Projektes angewandten Methoden für Resthölzer im Saarland diskutiert.

Holzkaskadennutzung wird im Projektzusammenhang folgendermaßen definiert:

„Holzkaskadennutzung ist die möglichst langfristige Nutzung von Holz im Wirtschaftssystem unter der Prämisse einer günstigen Umweltbilanz und einer möglichst hohen Wertschöpfung der knappen Ressource Holz.“

Im Rahmen der durchgeführten **Ökobilanzen** wurden nachstehende Leitfragen bearbeitet:

- Sollte Holz in erster Linie stofflich oder (direkt) energetisch genutzt werden?
- Welches ist der effizienteste Weg der stofflichen Nutzung von Holz?
- Welche ökologischen Implikationen hat die Erschließung bislang nicht mobilisierter Holzpotenziale?
- Auf welche Weise kann eine zukünftige verlängerte Nutzungsdauer von Holz im Rahmen von Kaskadenprozessen mit abschließender energetischer Verwertung bewertet werden?

Die erstellte Ökobilanz wurde nach den Ökobilanznormen ISO 14040 und 14044 (ISO 2006) durchgeführt. Es wurden Lebenswege von Holz definiert und typischen Nicht-Holz-Produkten im Sinne von Referenzsystemen gegenübergestellt. Der Einfluss von verschiedenen Möglichkeiten bezüglich der verwendeten Holzsortimente, der Prozessbedingungen und der Nicht-Holz-Äquivalente wurde in zahlreichen Sensitivitätsanalysen untersucht.

Basis der Sachbilanz sind zahlreichen Studien und eigenen Daten (Schweinele/Thoreo 2001), (Rüter/Diederichs 2012), (Rüter/Kreißig 2007), (Werner et al. 2007), (IFEU 2012). Die Systemgrenzen gelten für Deutschland und das Jahr 2010. Gemäß der Empfehlung der ISO 14044 wurde hinsichtlich des methodischen Ansatzes an Stelle einer Allokation (i. S. e. Warenkorbansatz) die Systemraumerweiterung gewählt (d. h. für eingesparte Energie oder Emissionen werden „Gutschriften“ vergeben).

Die energetische Verwertung von Altholz hat Gutschriften für den marginalen Strom- bzw. Wärmemix zur Folge. Als Referenz für die energetische Nutzung wurde bis auf einige beschriebene Abweichungen der marginale deutsche Strom- bzw. Wärmemix im Sinne von Fraunhofer ISI (2009) und UBA (2009) gewählt.

Die untersuchten Umweltwirkungskategorien sind:

Aufwand nicht erneuerbarer Energie, Treibhauseffekt, Versauerung, Nährstoffeintrag in Böden, Humantoxizität (Feinstaub PM10 als ein wichtiger Aspekt) und – nach Relevanz – andere Kategorien wie biogener Ressourcenverbrauch (Holz) oder Ozonabbau (in der Stratosphäre).

Alle quantitativen Ergebnisse sind auf eine Bezugseinheit normiert, um so ihre relative Größe besser verstehen zu können. Diese Bezugseinheiten sind der durchschnittliche Energieaufwand und die durchschnittlichen Emissionen eines Bundesbürgers pro Tag, die so genannten Einwohnertageswerte.

Typischerweise werden zeitliche Unterschiede zwischen verschiedenen Lebenswegabschnitten in einer Ökobilanz nicht berücksichtigt, da sie in den meisten Fällen nicht von Bedeutung sind. Eine relativ große Verzögerung könnte zu signifikanten Änderungen führen, beispielsweise bezüglich der jeweils ersetzten Energie am Ende der Kaskade. Für kürzere Holznutzungskaskaden können die Unterschiede dagegen sehr klein und damit irrelevant sein.

Im Standardfall wurde für die Untersuchung der Lebenswege ein Steady-State-Ansatz (für das Jahr 2010) gewählt. Ziel der sozioökonomischen Analyse war es, Beschäftigungseffekte in der Branche „Holzwerkstoffindustrie“ und der Sägeindustrie gemäß der Brancheneinteilung im Rahmen der Klassifikation der Wirtschaftszweige (DESTATIS 2003) zu evaluieren. In diesem Rahmen fand eine ökonometrische, raumbezogene Struktur- und Marktanalyse auf Ebene von Raumordnungsregionen statt. Einbezogen wurden die Raumordnungsregion Saarland sowie die angrenzenden Raumordnungsregionen in Rheinland-Pfalz und die benachbarte Region in Frankreich (Lothringen). Analysiert wurde der Zeitraum von 1999 bis 2008. Es erfolgte ein Rückblick, die Darstellung des Status Quo sowie ein Ausblick (zukunftsorientierte Trendanalyse) bezüglich der Arbeitsplätze und der damit verbundenen Wertschöpfung in der Region. Anhand neuerer geostatistischer bzw. ökonometrischer Methoden (z. B. Moran-I-Agglomerations- bzw. Co-Agglomerationsindizes) wurde überprüft, ob ein Regionalcluster für die Branche Holzwerkstoff- und Sägeindustrie identifiziert werden kann. Zur Begründung unterschiedlicher Beschäftigungstrends durch konjunkturelle, strukturelle oder standörtliche Effekte wurde eine Shift-Share Analyse durchgeführt.

Ergebnisse

Akteur- und Hemmnisanalyse

Bei der Untersuchung der Ressource Holz ist in einem besonderen Maße zu berücksichtigen, dass vielfältige Nutzungsoptionen mit unterschiedlichsten Akteuren die Bewirtschaftung der Ressource beeinflussen. Abbildung 2 zeigt verschiedene Nutzungsmöglichkeiten (stoffliche Nutzung, energetische Nutzung, Nutzung der Landschaft zur Nahrungsmittelbereitstellung) und die teilweise daraus resultierenden Flächenkonkurrenzen (Bereitstellung von Infrastruktur, Naturschutz, forst- und landwirtschaftliche Nutzungen). Zusätzlich sind noch die aus der Erholungsfunktion resultierenden Anforderungen zu nennen.



Abbildung 2: Nutzungskonkurrenzen in einer Region

Neben diesen Konkurrenzsituationen spielen auch die geomorphologischen Voraussetzungen sowie die administrativen Gegebenheiten eine Rolle in der Bewertung von Hemmnissen. In Tabelle 2 sind die herausgearbeiteten Hemmnisse unter Berücksichtigung der im Methodenteil dargestellten Kategorien zusammen gestellt.



Tabelle 2: Hemmnisse der Holzenergienutzung und ihre Merkmale

Hemmnis	Exemplarische Merkmale	Zutreffend für
Ressourcenseitige Hemmnisse	Bodengüte (Nährstoffverfügbarkeit, Wasserhaltekapazität, u.a.m.)	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Niederschläge und klimatische Gegebenheiten	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Exposition und Hangneigung	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
Technische Hemmnisse	Befahrbarkeit	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Schadstoffbelastung	Landschaftspflegeholz, Altholz, holzartiger Grünschnitt
	Rindenanteil	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz, holzartiger Grünschnitt
	Trocknung	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz, holzartiger Grünschnitt
Wirtschaftliche und Finanzierungshemmnisse	Holzerntekosten	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Konkurrenz stofflich / energetisch	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Konfektionierung	Altholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz, holzartiger Grünschnitt
	Zertifizierungen	Waldholz, Kurzumtriebsholz
	Investitionskosten	alle
Administrative bzw. rechtliche Hemmnisse	Naturschutzaufgaben	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz
	Wasserschutzaufgaben	Kurzumtriebsholz, holzartiger Grünschnitt
	Regelungen im EEG	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz, holzartiger Grünschnitt
	Immissionsschutzrechtliche Auflagen	alle
Soziale Hemmnisse	Informationsdefizite über Holz	Waldholz, Kurzumtriebsholz, Landschaftspflegeholz, holzartiger Grünschnitt
	Nutzungswille	Waldholz (Privatwald)
Nachfragebedingte Hemmnisse	Qualitätsansprüche	alle
	Preisansprüche	alle

Tabelle 3: Hemmnisse der Holzkaskadennutzung im Saarland

Hemmnis	Begründung	Bewertung
Das Rohholzangebot zur stofflichen Nutzung von Holz wird eingeschränkt.	Großschutzgebiete und Verzicht auf Schwachholznutzung durch Waldbau, z.B. keine Nutzung des Holzes der ersten Durchforstungsstufe (Grund: Bodenschutz) Unzureichende Privatwaldmobilisierung Kaum Kurzumtriebsflächen vorhanden	Weniger Dendromasse für die energetische und die stoffliche Nutzung vorhanden. Erhöhung des Konkurrenzdruckes Weniger Bereitschaft zum Einsatz der Rohstoffe in Nutzungskaskaden
Konkurrenz zur direkten energetischen Nutzung	Wärmeversorgung „auf dem Land“ findet immer mehr mit Holz statt („soziale Frage“). Subventionen einiger Bürgermeister: Holz für 20 €/fm frei Waldstraße für Brennholz Im Saarland: Eher geringer Absatz in EEG-Anlagen	V. a. die Brennholznutzung hemmt die stoffliche Nutzung Somit Hemmung des Einstiegs in Nutzungskaskaden
Fehlen logistischer Strukturen	Geringe regionale Mobilisierung von Reststoffen (z.B. Landschaftspflegeholz) Informationsdefizit über den Stoffstrom Holz Altholzsortierung mangelhaft	Verminderung des Rohholzangebotes für die Energie Verminderung von A/All-Hölzern zur Nutzung in Kaskaden
Keine Abnahme von A I/A II-Hölzern zur stofflichen Nutzung	Keine Spanplattenwerke im Saarland	Keine Wertschöpfung durch die Holzkaskadennutzung in der Region fehlende Argumentationsbasis für regionale Entscheidungsträger im Sinne der Kaskadennutzung
Fehlen von regionalen Verbrennungskapazitäten für A IV-Hölzer	Im Saarland existiert keine 17. BImSchV-Anlage zur Altholzverbrennung	Keine Möglichkeit der energetischen Nutzung am Ende der Kaskade Durch Kaskadennutzung kein Ausbau der Energieholznutzung möglich

Ein wesentliches Ergebnis insbesondere der Akteurs- und Hemmnisanalyse ist die Erkenntnis, dass neben dem globalen Holzmarkt ein regionaler, oder gar lokaler Holzmarkt besteht. Beide Märkte funktionieren nach eigenen Gesetzen und sind auf verschiedene Nachfrage- und Angebotsstrukturen ausgerichtet. So haben die Untersuchungen im Saarland gezeigt, dass sowohl die Holzwerkstoffindustrie als auch die großen Holzheizkraftwerke ihren Rohstoff überregional aus einem Radius von 100 - 250 km beziehen. Am regionalen (Energieholz-)Markt hingegen bedienen regionale Holzanbieter viele (private) Endkunden aus den saarländischen Ressourcen. Der energetische Holzverbrauch in Einzelfeuerstätten wurde dabei – in Abhängigkeit der im Projekt angewandten Szenarien – kenniffernbasiert auf 200.000 bis 360.000 fm abgeschätzt. Dies führt dazu, dass sich ein – oft informeller – regionaler/lokaler Markt mit festen Strukturen (Akteuren) etabliert. Insbesondere in den kommunalen Wäldern ist dabei festzustellen, dass im Laubholz kaum Industrieholz aus-sortiert wird.

Die mengenmäßige Bereitstellung von Waldholz zur energetischen Nutzung in großen Heiz-(kraft-)werken ist gemäß den erzielten Untersuchungsergebnissen im Vergleich zur Scheitholznutzung regional – zumindest teilweise – von sehr geringer Bedeutung. Dies ist u. a. zum Beispiel mit dem Anspruchsdenken einiger Bürgermeister begründet, die ihren Bürgern Energieholz – insbesondere aus den Kommunalwäldern – im Sinne einer kommunalen Dienstleistung bzw. „Bürgerpflege“ günstig, d. h. teilweise unter Marktpreis bereitstellen wollen. Tabelle 3 zeigt die identifizierten Hemmnisse der Holzkaskadennutzung im Saarland auf. V. a. durch die fehlende Spanplattenindustrie und die nur eingeschränkt vorhandenen Altholzverbrennungskapazitäten ist eine Holz-Kaskadennutzung im Untersuchungsraum derzeit zumindest im regionalen Kontext noch nicht möglich. Dementsprechend ist das Bewusstsein für Nutzungskaskaden bei den einzelnen Akteuren nicht ausgeprägt. Des Weiteren ist durch Nutzungsverzicht im Wald das Dendromasse-Angebot insgesamt verringert, was bei einer gleichzeitigen, hohen Beliebtheit der energetischen Nutzung von Scheitholz (historisch bedingt hoher Bestand an feststoffbasierten Einzelfeuerungen) zu Nutzungskonkurrenzen führt.

Der Stoffstrom Holz im Saarland

Insgesamt beträgt im Saarland das Dendromasse-Potenzial, welches unter heutigen Rahmenbedingungen für die Produktion von Holzwerkstoffen und Holzenergie bereitgestellt werden könnte rund 290.000 t pro Jahr¹, davon etwa 150.000 t an Waldholz (vgl. Tabelle 4). Demgegenüber steht die Nutzung von Dendromasse. Alleine für den Hausbrand werden bei einem mittleren Verbrauchsszenario (vgl. Wenzelides & Hagemann 2007) rund 70.000 t an Holz eingesetzt. Zusätzlich wurden im Jahr 2010 etwa 20.000 t Waldholz durch ein NawaRo-Heizkraftwerk sowie ca. 53.000 t AI/All Holz von Altholzheiz-(kraft)werken verbraucht. Somit sind insgesamt etwa 143.000 t der ermittelten Potenziale bereits jetzt im energetischen Bereich in Nutzung.

Tabelle 4: Angebot an Dendromasse im Saarland

Art/Fraktion	Menge in t _{atro}
Derbholzpotenzial gesamt	150.000
Altholz	72.500
Industrie-Restholz	14.000
Holzartiger Grünschnitt	25.000
Landschaftspflegeholz aus Naturschutz	4.800
Straßenbegleitholz	400
Schienenbegleitholz	2.000
Schwemmholz an Wasserwegen	200
KUF	20.000
Gesamt	288.900

¹ Alle Zahlen beziehen sich auf absolute Trockenmasse (atro).

Insgesamt ergaben die Untersuchungen für das Saarland unter Berücksichtigung der stofflichen Holznutzungen in der Holzwerkstoffindustrie sowie in Sägewerken, der Rohholzimporte, der Exporte von Holzprodukten und des Holzverbrauches im Bereich der Energieerzeugung eine negative Bilanz im Sinne eines deutlichen Importüberschusses. Dabei werden zurzeit jährlich rund 340.000 t Rohholz in die Region importiert und 286.000 t Holzprodukte, 59.500 t Altholz sowie 50.500 t Stammholz bzw. sonstiges Holz exportiert (Abbildung 3). Von Holznutzern werden im Saarland insgesamt rund 473.000 t benötigt.

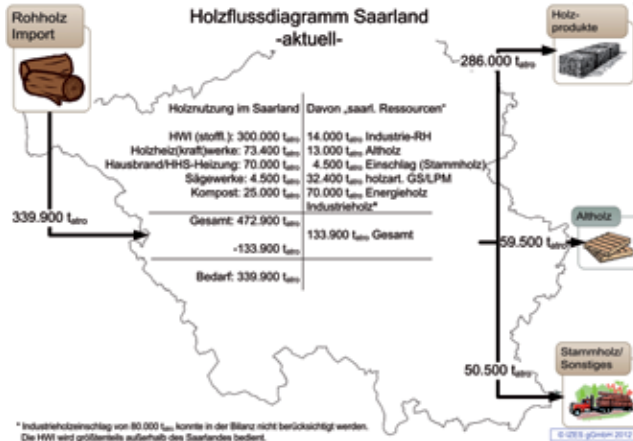


Abbildung 3: Holzflussdiagramm für das Saarland - Status quo

Nach der Beeinflussung der oben dargestellten Stoffströme durch die später aufgezeigten Maßnahmen im Sinne regionaler Konzepte könnte sich der ermittelte Holzbedarf auf rund 448.000 t verringern. Die verfügbaren saarländischen Ressourcen lassen sich dabei – bei Beachtung einer nachhaltigen forstlichen Nutzung – um knapp 70.000 t erhöhen. Der resultierende Bedarf an Holzimporten reduziert sich entsprechend um rund 93.000 t. Dies bedeutet eine Verringerung um knapp 30 %.

Aus den sozioökonomischen Analysen konnte trotz des Ausbaus der Holzenergienutzung für die Holzwerkstoffindustrie ein positiver regionaler Trend festgestellt werden.

Ökobilanz

An dieser Stelle wird auf einige Ergebnisse der Ökobilanz näher eingegangen. Im Vergleich weist die stoffliche Nutzung von Holz (einschließlich der energetischen Verwertung am Ende der Nutzungskette) gegenüber der direkten energetischen Holznutzung überwiegend Vorteile oder ähnliche Ergebnisse auf (Abbildung 4). Nachteile ergeben sich ausschließlich im Falle einer sehr ungünstigen Prozessimplementierung bezüglich der Holzverarbeitung (rechtes Ende der Bandbreitenbalken). Deutliche Vorteile bei der stofflichen Nutzung ergeben sich insbesondere, wenn Produkte ersetzt werden, deren Herstellung mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist, beispielsweise Holz in tragender Funktion anstelle von Stahlträgern. Als Referenz (jeweils unterster Balken) ist die direkte energetische Nut-

zung in einem Mix von Bestandsanlagen dargestellt. In Abbildung 4 nicht ausgewiesene Referenzprodukte sind: Bauholz (Innenausbau) – Stahlprofile, Spanplatte (Möbelbereich) – Stahlbleche, Spanplatte (Bau) – Gipsfaserplatte, Softboard (Gebäudedämmung) – Steinwollplatte. Der Vergleich der stofflichen mit der energetischen Nutzung ist weitgehend unabhängig von der Art der Holzverbrennungsanlage, da die energetische Verwertung von Altholz (nach der stofflichen Nutzung) in gleicher Weise wie die von Frischholz betroffen ist. Das heißt jedoch nicht, dass die Nutzung von Holzenergie per se negativ ist. Gegenüber den alternativen Möglichkeiten (Strom- bzw. Wärmemix) ergeben sich für die Holzverbrennung durchaus Vorteile in einigen Umweltwirkungen, wenn auch nicht i. d. R. so hohe wie für die stoffliche Nutzung.

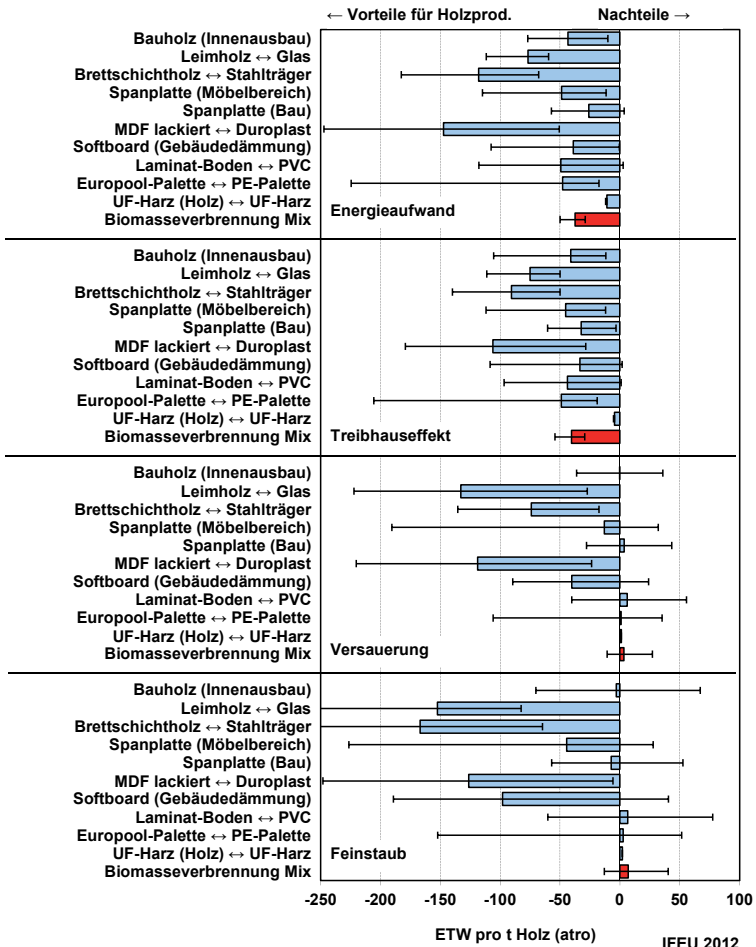


Abbildung 4: Umweltauswirkungen verschiedener stofflicher Nutzungsformen von 1 t Altholz (atro) mit anschließender energetischer Verwertung in einem Mix von Bestandsanlagen.

Abbildung 5 stellt die Umweltauswirkungen von in dem Projekt untersuchten Kaskadennutzungen unter Berücksichtigung der Nicht-Holz-Referenzprodukte dar (energetische Verwertung im HKW; Leimholz: Glas; Spanplatte: Stahlblech). Für alle Umweltwirkungen gilt, dass sich die Anzahl der Nutzungskaskaden positiv auf die Ergebnisse auswirkt. Die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchung von Bauholz-Nutzungskaskaden unterstreichen die Emp-

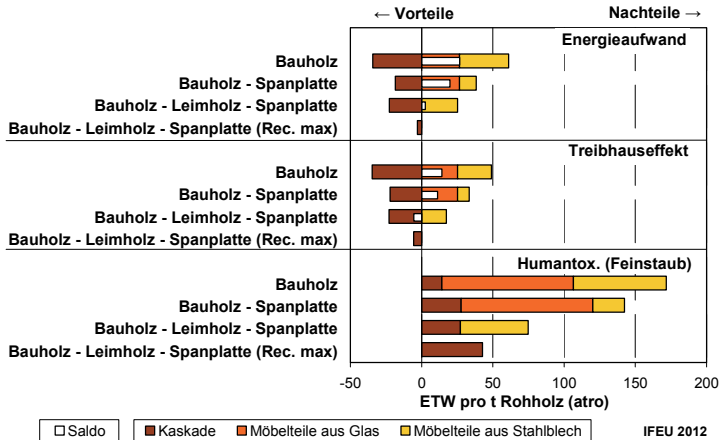


Abbildung 5: Umweltauswirkungen von Bauholz ohne Kaskadennutzung und mit unterschiedlich langen Kaskaden.

fehlung für möglichst lange Kaskaden sinnvoller Holznutzungsarten.

Neben diesen Ergebnissen wurde im Projekt die Rolle der Veränderungen des Energiesektors und der Kohlenstoffspeicherung im Holz untersucht. Als Schlussfolgerung ist festzuhalten, dass die Verbrennung von Holz 2050 trotz Effizienzsteigerungen in den Verbrennungstechniken weniger Einsparungen an Treibhausgasemissionen mit sich bringen wird als 2010, da der ersetzte Energiemix in der Zwischenzeit sauberer wird. Damit werden die Treibhausgaseinsparungen 2050 noch 60 % derer aus dem Jahre 2010 betragen. Zur zeitlichen Rolle der Kohlenstoffspeicherung im Holz wurde die Methode der Diskontierung zukünftiger Treibhausgasemissionen im Sinne des wirtschaftlichen Vorteils eines erst später erfolgenden Schadens durch den Treibhauseffekt (Delucchi 2011) gewählt. Unter Berücksichtigung aller Szenarien führt die Bewertungsmethode zu dem Schluss, dass der Vorteil der Zwischenspeicherung den Nachteil der geringeren zukünftigen Einsparung von Treibhausgasemissionen durch fossile Energieträger ausgleichen könnte.

Die Holzenergiestrategie

Unter Einbindung der regionalen Akteursstrukturen wurde folgendes Leitbild hinsichtlich des zukünftigen Umgangs der Nutzung von Holz als Energieträger im Rahmen des Projektes herausgearbeitet:

Die Holzenergienutzung im Saarland schöpft die regionalen Potenziale unter Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion) möglichst effizient mit Hilfe integrierter Biomasse-Nutzungskonzepte aus.

Damit wird explizit die bisher ungenügende Ausschöpfung der regionalen Potenziale betont. Die damit verbundene Zielsetzung einer stärkeren Mobilisierung der endogenen Potenziale hat Auswirkungen auf den überregionalen Holzmarkt, da durch die verbreiterte Ausnutzung vorhandener regionaler Dendromasse zur energetischen Nutzung von Holz Importe verringert werden und der Verbrauch von wertvolleren Sortimenten wie z. B. hochwertige Holzhackschnitzel vermieden wird. Gleichzeitig wird jedoch auf die Nutzungskonkurrenz zu anderen Holzverwendungen (stofflich/chemisch) und anderen Nutzungsformen der Landschaft (Naturschutz/Erholung) eingegangen. Dies impliziert den möglichst sparsamen und effizienten Umgang mit der Ressource Holz und der Ressource Boden. Hierzu sind Nutzungskonzepte erforderlich, welche die verschiedenen Ansprüche gleichrangig betrachten und folgende Schritte integrieren: Produktion und Ernte des Holzes, Mobilisierung von Resthölzern, Qualifizierung und Distribution der Produkte.

Als Konsequenz aus dem definierten Leitbild wurden drei wesentliche Handlungsfelder abgeleitet:

- Effizienter Umgang mit der Ressource Holz
- Effizienter Umgang mit der Ressource Boden
- Verbreiterung der Rohstoffbasis durch die Mobilisierung und Nutzung von Reststoffen sowie vermehrtem Holzanbau im Kurzumtrieb

Innerhalb der Handlungsfelder wurden zudem spezifische Maßnahmen erarbeitet. Diese umfassen Vorschläge für rechtliche Veränderungen im Landes- und Bundesrecht, Förderkampagnen, Informationskampagnen und Handlungsempfehlungen für einzelne Akteursgruppen. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die einzelnen Maßnahmen und schätzt diese hinsichtlich der jeweiligen Zeitperspektive, der Kosten und der Komplexität ein.

Fazit, Nachhaltigkeitsaspekte und Übertragbarkeit

Die im Projekt erzielten Erkenntnissen liefern den Schlüssel für eine nachhaltige Holzenergiestrategie in der Region. Beispielsweise kann es gelingen, durch gewachsene und zu entwickelnde Netzwerke bzw. Akteursstrukturen eine nachhaltige Mobilisierung von Resthölzern unterschiedlicher Quellen zu ermöglichen. Beim Altholzmarkt handelt es sich dabei i. d. R. um einen nationalen bis internationalen Markt. Dieser baut sich aus etablierten Anbieter-, Abnehmer- und Preisstrukturen auf. Für den regionalen (Energie-)Holzmarkt hingegen ergeben sich andere Marktmodelle. Rohstoffe – insbesondere diejenigen schlechterer Qualität – könnten aufgrund fehlender bzw. geringer Transportkosten und direkter Endkundenvermarktung (kein Zwischenhandel) noch gewinnbringend vertrieben werden. Jedoch wird – gerade bei regionalen/kommunalen Entscheidungsträgern – der Versorgung der lokalen Bevölkerung mit Scheitholz eine sehr hohe Priorität eingeräumt und dazu z. T.

Tabelle 5: Maßnahmen zur Umsetzung einer Holzenergiestrategie

Art	Verantwortlichkeit	Zeitperspektive	Kosten	Komplexität
Holzkaskadennutzung	Unternehmen Bund	lang	?	hoch
Vereinfachung des Anbaus von KUF	Bundesland Verbände Landwirtschaftskammern	kurz	gering	mittel
Förderkampagnen KUF Land	Bundesland Kommune Unternehmen	kurz	hoch	niedrig
Förderung Biomassehöfe	Bund Bundesländer Kommunen Unternehmen	kurz - mittel	mittel	mittel
Anpassung Landesrecht	Bundesland	kurz	gering	mittel
Anpassung Bundesrecht	Bundesland/Bund	mittel	gering	hoch
Landesentwicklungsplanung mit Flächensensibilisierung	Bundesland Kommune	mittel - hoch	gering	hoch
Informationskampagnen	Bundesland Kommune Verband Unternehmen	kurz	gering	niedrig
Akteurs- und Netzwerksmanagement	Bundesland Kommune Verband Unternehmen	mittel	mittel	mittel

auf höherwertige Holzsortimente zurückgegriffen. In diesem Kontext hat vor allem der persönliche Kontakt zwischen Verkäufer und Käufer den ausschlaggebenden Einfluss. Der erzielbare Preis sowie eine effiziente Nutzung des Rohstoffes sind dabei – aus Regions- und Akteursicht – sekundär. Die mengenmäßige Versorgung von großen Holzheizkraftanlagen mit Waldholz ist im Vergleich zur Scheitholznutzung aufgrund historisch etablierter Versorgungsstrukturen regional teilweise kaum von Belang. Einem regional etablierten Akteursnetzwerk kommt daher eine große Bedeutung bei der Steuerung von Stoffströmen zu.

Die Holzenergiestrategie muss sich zwingend mit Nutzungskonkurrenzen auseinandersetzen. Dabei ist eine – insgesamt sinnvolle – Holzkaskadennutzung als solche sehr abstrakt und kann auf regionaler Ebene nur vermittelt werden, wenn die einzelnen Stufen zumindest der bislang im Holzsektor gängigen Kaskaden (Spanplattenindustrie, Altholzheizkraftwerke) vorhanden sind und die damit verbundenen regionalen Wertschöpfungseffekte dargestellt werden können. Sind diese Stufen nicht vorhanden, kann die Holzkaskadennutzung durch die Verbreiterung der regionalen Rohstoffbasis in Form einer Mobilisierung und besseren Stoffstromlenkung in Verbindung mit einer Verminderung von Importen und einer Freisetzung höherwertiger Holzqualitäten unterstützt werden. So können qualitativ hochwertige Rohstoffe (z. B. hochwertige Hölzer aus dem Wald sowie A-I-Sortimente) vornehmlich der

Holzwerkstoffindustrie angedient werden und qualitativ schlechtere Sortimente wie z. B. Holz aus Kurzumtrieb, Landschaftspflegehölzer, X-Hölzer aus dem Wald oder A-IV-Hölzer dem Energieholz. Damit lassen sich zumindest externe Effekte in anderen Regionen im Sinne der Kaskadennutzung erwirken. Diese auch ökologisch sinnvollen Stoffstromlenkungen müssen mit geeigneten, im Rahmen des Projektes erarbeiteten regionalen Maßnahmen, hinterlegt werden.

Aus ökologischer Sicht lässt sich auf der Basis der durchgeführten Analysen allgemein ableiten, dass das Ersetzen von Nicht-Holz-Materialien im tragenden Bereich des Bausektors durch Holzprodukte das höchste Potenzial zur Senkung von Umweltbelastungen aufweist (z. B. Stahlträger vs. Brettschichtholz). Daher wird empfohlen, Stammholz ausschließlich für Massivholzprodukte zu nutzen, wo deren Einsatz nötig ist. Die energetische Verwendung von nachhaltig gewonnenem Holz besitzt bzgl. der Wirkungskategorie Treibhauseffekt einen deutlichen Vorteil gegenüber dem derzeitigen marginalen Energiemix. Der Vorteil der stofflichen und letztendlich kaskadierten Nutzung ist bei fast allen untersuchten Prozessketten höher einzuschätzen. Soll dieser Vorteil aktiviert werden, ist aufgrund der aktuellen Marktmechanismen eine entsprechende Förderpolitik zur Ausweitung von ökologisch vorteilhaften stofflichen Holz-Nutzungsarten in Verbindung mit einer hochwertigen energetischen Nutzung erforderlich.

Forschungsbedarf besteht jedoch noch im Kontext der ökobilanziellen Betrachtungen hinsichtlich der zeitlichen Allokation und Wirksamkeit von Maßnahmen zur Stoffstromlenkung. Wird z. B. dem Energiesektor im Sinne einer Stärkung der stofflichen Nutzung unmittelbar Holz entzogen, dann fällt dies in eine Zeit mit einem vergleichsweise „schlechten“ Energiesystem, bei dem die damit verbundenen Verluste größtenteils fossil ausgeglichen werden müssen. Zwar wird die entsprechende regenerative Energie dann in ein Produkt eingebunden und mit einem je nach Produkt/Kaskade spezifischen zeitlichen Verzug im Rahmen einer finalen energetischen Nutzung wieder freigesetzt; diese Freisetzung findet aber gegebenenfalls dann zu einem Zeitpunkt statt, bei dem bereits idealerweise ein deutlich „besseres“ Energiesystem implementiert ist, welches aus ökobilanzieller Sicht nur noch geringere Gutschriften zulässt.

Im Hinblick auf die Übertragbarkeit der im Projekt für die Modellregion Saarland erzielten Erkenntnisse auf andere Ausgangssituationen wurde eine Kurzanalyse für den Einzugsbereich des Biomassehofes Königs Wusterhausen durchgeführt. Dort konnte ein Großteil der Aussagen bestätigt werden, allerdings hatte dort aufgrund der im Umfeld vorhandenen Spanplattenindustrie der Kaskadenansatz bereits eine deutlich stärkere Prägung.

In der Bewertung der Nachhaltigkeit der Holzenergienutzung sollten unbedingt energiewirtschaftliche, marko-ökonomische sowie ökologische und soziale Bedürfnisse gegenübergestellt werden. Nicht alle ökologisch sinnvollen Erkenntnisse bzgl. der Vorteilhaftigkeit von Nutzungskaskaden lassen sich auch in konkrete Maßnahmen umsetzen und sind auch ökonomisch sinnvoll. Selbst in der rein ökologischen Bewertung gibt es gegensätzliche Erkenntnisse. So ist aus Sicht der Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ eine energetische Verwendung von Holz gegenüber dem herkömmlichen Energiemix zu befürworten. Dagegen führt sie in vielen Fällen zu höheren Emissionen, die sie in der Kategorie „Versauerung“ nachteilig erscheinen lassen. Auch die aus z. B. Gründen des Prozessschutzes wünschenswerte Stilllegung von Waldflächen ist aus Sicht des Treibhausgasereffekts auf Grund der fehlenden stofflichen Nutzung und des „Steady State“ bzgl. der Kohlenstoffakkumulation in nicht genutzten Wäldern negativ zu sehen. Die Bewertung dieser Zusammenhänge sollte Gegenstand weiterer Betrachtungen sein.

Literaturverzeichnis

- Baur: Effiziente Nutzung von Biomasse – Reststoffe, Nutzungskonkurrenzen und Kaskadennutzung. Tagungsband 2010: Forschung für das Zeitalter der erneuerbaren Energien, Jahrestagung des Forschungsverbundes Erneuerbare Energien, Berlin 2010.
- BMELV: Holzmarktbericht 2009. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn 2010.
- BMELV: Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn 2011.
- BMELV & BMU: Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Bonn und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin 2010.
- BMU (2012 a): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011. Grafiken und Tabellen. Stand März 2012, AG EESat, Referat KI III, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- BMWi & BMU (2012): Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin.
- Carlowitz, H. C. Freiherr von: Sylvicultura oeconomica. 1713 .Neuaufgelegt vom Deutschen Forstverein 2013, zu beziehen bei Verlag Dr. Kessel, www.forstbuch.de.
- DESTATIS: Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2003 Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2003.
- Delucchi M (2011): A conceptual framework for estimating the climate impacts of land-use change due to energy crop programs, *Biomass and Bioenergy* 35, S. 2337-60.
- DLR; Fraunhofer IWES; IfnE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht im Auftrag des BMU, Berlin.
- Fraunhofer ISI: Klobasa, M.; Sensfuß, F.; Ragwitz, M.: CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Karlsruhe 2009.
- GIPEBLOR: Groupe Interprofessionnel de promotion de l'Economie du Bois en Lorraine, 2011. Statistiques des industries du bois. Données fournis par M. Cuchet. Vandoeuvre.
- INSEE Institut national de la statistique et des études économiques: ALISSE-Datenbank 2010.
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU): Interne Datenbank. Heidelberg 2012.
- International Organization for Standardization (ISO): ISO norms 14040:2006(E) & 14044:2006(E), Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines, Genf 2006.
- IZES: Biomasse-Potenzialanalyse für das Saarland. Der Teilplan Biomasse zum Master-Plan Neue Energie. Endbericht, Saarbrücken 2012.
- Mantau, U. Saal, U.; Prins, K.; Steierer, F.; Lindner, M.; Verkerk, H.; Eggers, J.; Leek, N.; Oldenburger, J.; Asikainen, A.; Antilla, P. (2010): EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg/Germany, June 2010.
- Fritsche, Uwe R.; Dehoust, Günther; Jenseit, Wolfgang; Hünecke, Katja; Rausch, Lothar; Schüler, Doris; Wiegmann, Kirsten; Heinz, Andreas; Hiebel, Markus; Ising, Markus; Kabasci, Stephan; Unger, Christoph; Thrän, Daniela; Fröhlich, Nicole; Scholwin, Frank; Reinhardt, Guido; Gärtner, Sven; Patyk, Andreas; Baur, Frank; Bemann, Ulrich; Grofl, Bodo; Heib, Marylin; Ziegler, Claudia; Flake, Michael;

Schmehl, Meike; Simon, Sonja (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht. URL: <http://www.oeko.de/service/bio/dateien/de/bio-final.pdf> (Stand 4. Mai 2013).

PEFC Lorraine : Etat des lieux de la foret Lorraine annee 2007. GIPEBLOR, Nancy 2007.

Rüter F.; Kreißig J.: Grunddaten für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten, Hamburg, Leinfelden-Echterdingen und Karlsruhe 2007.

Rüter, S.; Diederichs, S.: Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1, Hamburg 2012.

Saarforst Landesbetrieb: Forsteinrichtungsdaten des Gesamtwaldes im Saarland. Forsteinrichtung, Von der Heydt, Saarbrücken 2009.

Schweinle, J.; Thoroë, C.: Vergleichende Ökobilanzierung der Rundholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben, Max Wiedebusch Kommiss.-Verl. Hamburg 2001.

Schulte, A.: Dendromasse – Trends und Interdependenzen. Forstarchiv 78 (3) 2007, S. 59-64.

UBA: Umweltbundesamt: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Dessau 2009.

Wenzelides, M.; Hagemann, H.: Bestimmung des nachhaltig mobilisierbaren Dendromassepotenzials in Nordrhein-Westfalen anhand der Auswertung von Bundes- und Landeswaldinventur. Forstarchiv 78 (3) 2007, S. 73-81.

Wenzelides, M.: Entwicklung einer Methode zur Erfassung des Potenzials und des Verbrauchs von Dendromasse am Beispiel des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen. Dissertation. Westfälische-Wilhelms Universität Münster 2009.

Werner, F.; Althaus, H.-J.; Künniger, T.; Richter, K.; Jungbluth, N.: Ecoinvent report No. 9: Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Dübendorf, Switzerland 2007.



Foto: DBFZ

Bundesmessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung

Martin Zeymer, André Herrmann, Katja Oehmichen

Vorhaben: Bundesmessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung

FKZ-Nr.: 03KB017

Laufzeit: 01.08.2009 – 30.04.2012

Zuwendungssumme: 427.712 €

Koordination:

Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ)
Torgauer Straße 116, D-04347 Leipzig
www.dbfz.de

Endbericht des DBFZ online verfügbar unter:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/741107678.pdf>

Projektpartner:

Hochschule Zittau/Görlitz (HSZG), Fakultät Maschinenwesen
Dipl.-Ing. (FH) Roman Schneider/Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Zschunke
D-02763 Zittau
Tel.: +49 (0) 3583 61 1810
E-Mail: r.schneider@hszg.de

Endbericht der HSZG online verfügbar unter:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/743888308.pdf>

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE)
Dipl.-Ing. (FH) Florian Volz
Tel.: +49 (0) 89 329 442 26
E-Mail: volz@muc.zae-bayern.de

Endbericht des ZAE online verfügbar unter:
<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/742459519.pdf>

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF)
M.Sc. Patric Heidecke
Tel.: +49 (0) 391 40 90 343
E-Mail: Patric.Heidecke@iff.fraunhofer.de

Endbericht des IFF online verfügbar unter:
<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/744089565.pdf>

Kontakt:

Martin Zeymer – Projektleiter
Telefon: +49 (0) 341 2434 547
E-Mail: martin.zeymer@dbfz.de

Martin Zeymer (Projektleiter):

Die Mannigfaltigkeit an Verfahren und Anwendungsgebieten der kleintechnischen Biomassevergasung steht der Vielfalt der Biomasse nicht nach. Dabei gilt vereinfacht: Je heterogener und preiswerter die eingesetzte Biomasse, desto komplexer und teurer die benötigte Anlagentechnik, um mit ihr fertig zu werden.



Foto: Christian Bartsch

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund einer umweltverträglicheren Energiebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen wird die thermo-chemische Vergasung als sehr vielversprechend eingeschätzt. Um die bestehenden technischen wie auch ökonomischen Hürden zu überwinden, wurden die Anlagen zur kleintechnischen Vergasung von Biomasse stetig weiterentwickelt und haben heute einen deutlich verbesserten Entwicklungsstand erreicht. Dabei werden von unterschiedlichen Herstellern verschiedene konzeptionell erfolgsversprechende Ansätze verfolgt, deren Praxistauglichkeit gegenwärtig erprobt wird. Um eine möglichst zügige und effiziente Markteinführung der kleintechnischen Biomassevergasung zu unterstützen, erfolgte durch das „Bundemessprogramm zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung“ eine wissenschaftliche Begleitung relevanter, gegenwärtig realisierter Konzepte. D. h., es wurden praktische Erfahrungen gesammelt, dokumentiert, ausgetauscht und wissenschaftlich bewertet. In Ergänzung zur bereits erfolgten Förderung und zur wissenschaftlichen Begleitforschung einzelner Anlagen konnte durch einen umfassenden Ansatz die technische, ökonomische und auch ökologische Optimierung beschleunigt und gleichzeitig kostenintensive Fehl- und Doppelentwicklungen reduziert werden. Zudem stellen die Ergebnisse eine Entscheidungsgrundlage für potenzielle Investoren (sowohl privater als auch öffentlicher Hand) dar. Mit Hilfe von systematischen Messungen und harmonisierten Bewertungsmethoden erfolgte eine objektive Auswertung des Anlagenbetriebs ausgewählter Anlagen, insbesondere in Bezug auf technische Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Die erarbeiteten Ergebnisse können, wie folgt, eingeordnet werden:

- Identifikation technischer Probleme bestehender Anlagen durch Feldmessungen
- Methodenharmonisierung mit dem Ziel der Vergleichbarkeit von Anlagen und -konzepten
- Validierung von Herstellerangaben und Forschungsergebnissen durch konkrete Messungen
- Bestimmung des THG-Minderungspotenzials von Biomassevergasungsanlagen
- Aufzeigen der Gestehungskosten und des ökonomischen Potenzials
- Transparente Informationsbereitstellung mittels Web-Datenbank

Hintergrund und Zielstellung

Die thermochemische Vergasung gilt als ein vielversprechendes Verfahren innerhalb der Energiebereitstellung aus biogenen Festbrennstoffen. Die Verschaltung kleintechnischer Biomassevergaser mit effizienten Gasmotoren ermöglicht durch eine gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung, KWK) eine hohe Ausnutzung der wertvollen Brennstoffe. Insbesondere gegenüber der im kleinen Leistungsbereich etablierten Verbrennung zur monovalenten Wärmeerzeugung besitzt die thermochemische Biomassevergasung durch die gleichzeitige Bereitstellung von Wärme und elektrischer Energie deutliche ökologische Vorzüge. Im Sinne einer optimalen energetischen Biomassenutzung sind KWK-Pfade sowohl den reinen Strom- als auch den reinen Wärmenutzungspfaden grundsätzlich vorzuziehen.

Trotz der prinzipiellen Vorteile und einer Förderung über das Erneuerbare Energien Gesetz seit dem Jahr 2000 konnten sich in Deutschland kleintechnische Vergasungsanlagen kommerziell bis zum Jahr 2008 noch nicht durchsetzen. Viele der mit hohen Erwartungen erstellten betriebenen Anlagen erreichen weder die avisierten Jahresbetriebsstunden noch entsprachen sie den Anforderungen, die an ein marktreifes Produkt gestellt werden. Um die bestehenden technischen wie auch ökonomischen Hürden zu überwinden, wurden die Anlagen zur kleintechnischen Vergasung von Biomasse stetig weiterentwickelt und haben heute einen deutlich verbesserten Entwicklungsstand erreicht. Der erfolgreichen Kommerzialisierung kleintechnischer Biomassevergasungskonzepte stehen allerdings nach wie vor zwei bedeutende Hemmnisse im Wege:

- die Entwicklungsanstrengungen im Rahmen der kleintechnischen Biomassevergasung verlaufen zu großen Teilen unkoordiniert und sind lediglich auf die spezifischen Probleme einzelner Anbieter zugeschnitten, und
- möglichen Investoren fehlt eine einheitliche und objektive Begutachtung der Marktreife, der akkumulierten fehlerfreien Betriebsstunden bzw. der Fehleranfälligkeit potenzieller Biomassevergasungsanlagen.

Um eine möglichst problemlose, zügige und effiziente Markteinführung der kleintechnischen Vergasung zu unterstützen und den oben genannten Problemen entgegenzutreten, wurden relevante, gegenwärtig realisierte Konzepte in einem „Bundemessprogramm“ begleitet. Die gesammelten Ergebnisse des Projektes sollen in einer zweiten Programmphase zur Entwicklung und Implementierung verbesserter Komponenten und/oder zur Demonstration optimierter Anlagenkonzepte genutzt werden.

Dabei galt es die zentrale Frage: „Welches Potenzial hat die kleintechnische Biomassevergasung zur nachhaltigen Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie und wie lässt es sich marktfähig entfalten?“ zu beantworten. Um eine Antwort zu geben, war es notwendig, die kleintechnische Vergasung von Biomasse unter verschiedenen Gesichtspunkten zu analysieren. Das Vorgehen der Untersuchung wird im Folgenden vorgestellt.

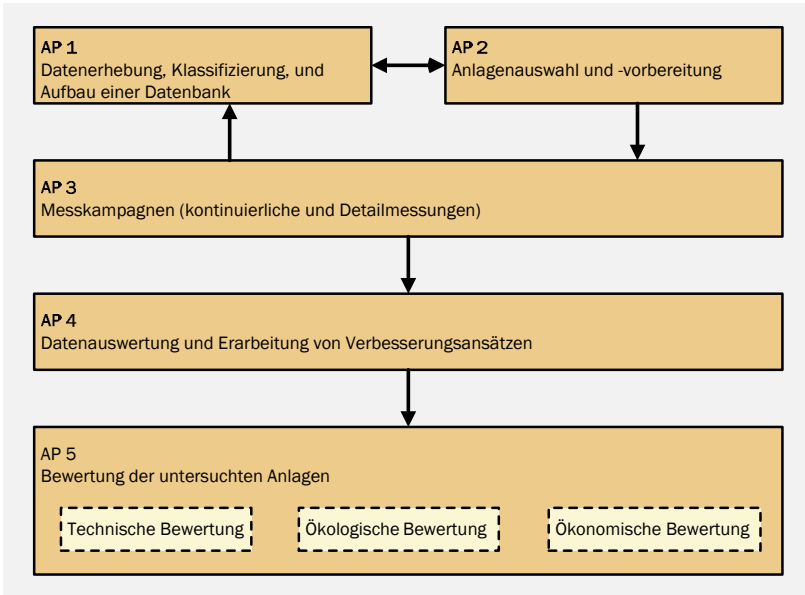


Abbildung 1: Ablauf und Vorgehensweise im Bundemessprogramm

Im Rahmen des Bundemessprogramms arbeiteten das Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ), die Hochschule Zittau-Görlitz (HSZG), das Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) und das Bayerische Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE) zusammen, um Biomassevergassungsanlagen deutschlandweit zu erfassen und zu bewerten.

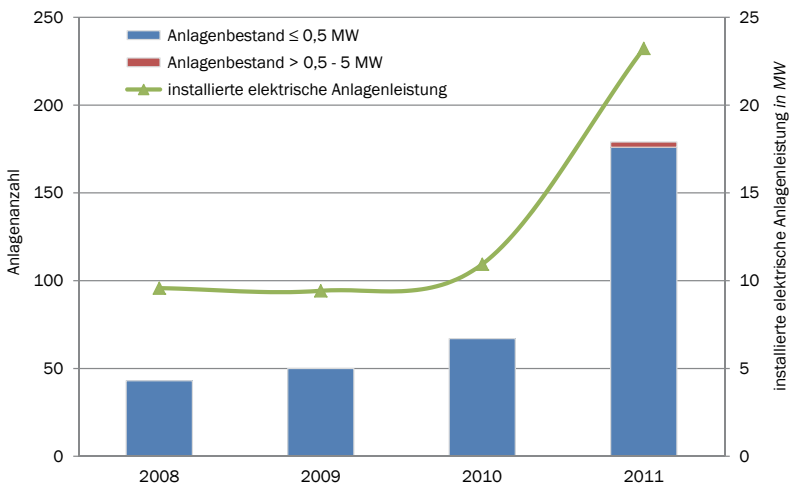


Abbildung 2: Entwicklung des Anlagenbestandes thermochemischen Vergassungsanlagen (DBFZ)

Entwicklungen der kleintechnischen Biomassevergasung

Der Anlagenbestand

Der überwiegende Teil der bis zum Jahr 2005 in Betrieb gegangenen Anlagen waren Versuchs- oder Einzelanlagen, die die für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Verfügbarkeiten nicht erreicht haben. In den Jahren 2006/2007 wurden von mehreren Herstellern erste Kleinserien mit elektrischen Leistungen zwischen 150 und 270 kW_{el} vermarktet, die ebenfalls technische Probleme aufwiesen. Mehrere Anbieter gingen in die Insolvenz. Umfassende Angaben zur tatsächlichen Zahl von EEG-Anlagen und deren Einspeiseleistungen in diesem Zeitraum sind aus den Daten der Übertragungsnetzbetreiber nicht verfügbar, so dass sich die folgenden Ausführungen auf die Entwicklung seit 2008 beziehen. Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des Anlagenbestands von 2008 bis 2011. Die Jahre 2008 bis 2010 waren von einer steigenden Anlagenanzahl bei einer annähernd konstant bleibenden, kumulierten elektrischen Leistung von rund 9,5 MW geprägt. Darin spiegelt sich die steigende Anzahl in den Leistungsklassen ≤ 50 kW_{el} und > 50 bis 200 kW_{el} bei gleichzeitiger Stilllegung von Anlagen höherer Leistung wider. Die Ursachen dieser Entwicklung liegen vor allem in den technischen Problemen der in den Jahren 2005 bis 2007 installierten Biomassevergasungsanlagen im Leistungsbereich > 200 kW_{el}. Die Anlagen haben sich als technisch noch nicht ausgereift und sehr wartungsintensiv erwiesen. Seit dem Jahr 2010 entwickelt sich eine neue Dynamik mit schnell wachsendem Leistungszubau. In diesem Jahr gingen 28 EEG-Anlagen mit einer elektrischen Kapazität von 2,5 MW ans Netz.

Regionale Verteilung

Im Jahr 2010 waren in allen Flächenländern, bis auf Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt, thermochemische EEG-Anlagen in Betrieb. Abbildung 3 zeigt die regionale Verteilung der Anlagen. Sowohl in der installierten Leistung als auch in der Anlagenanzahl

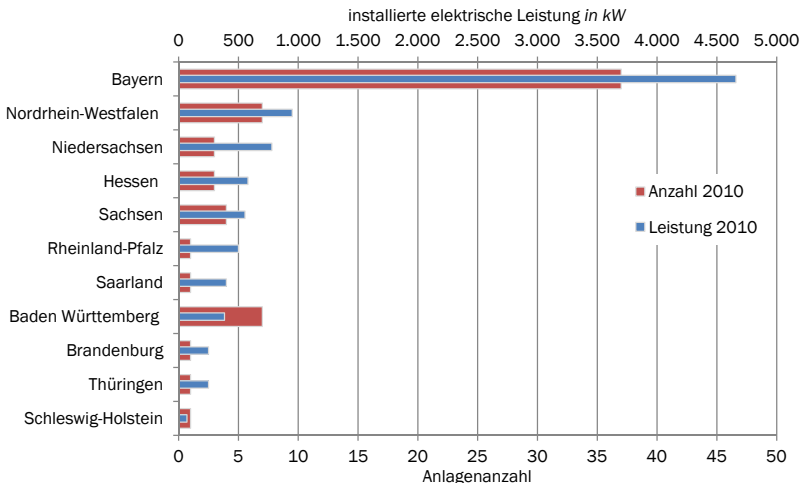


Abbildung 3: Regionale Verteilung der im Jahr 2010 betriebenen Holzvergasungsanlagen (DBFZ)

dominieren die südlichen Bundesländer. Allein in Bayern werden mehr als die Hälfte aller Holzvergasungsanlagen betrieben. Diese Verteilung korrespondiert mit der hohen Zahl holzverarbeitender Betriebe in diesen Bundesländern und der Unternehmensstandorte der relevanten Hersteller von Holzvergasungsanlagen, die auf Grund der räumlichen Nähe schnell auf Anlagenstörungen reagieren können. Den Herstellerinformationen zum Leistungszubau für 2011 ist zu entnehmen, dass mit Aufnahme der Serienproduktion zunehmend auch Kapazitäten in anderen Bundesländern ans Netz gehen.



Versuchsaufbau einer Teermessstecke
in Anlehnung an das tar protocol, Foto: DBFZ

Technologien und Verfahren

Das dominierende Holzvergasungsverfahren ist nach wie vor die absteigende Festbett-Gleichstromvergasung, wobei auch das Verfahren der aufsteigenden Gleichstrom- und Wirbelschichtvergasung sowie vereinzelt auch weitere Verfahren eingesetzt werden.

Im Leistungsbereich bis 50 kW_{el} sind mit einem Gas-Ottomotor gekoppelte, absteigende Gleichstromvergaser stark verbreitet. Im elektrischen Leistungsbereich > 50 bis 500 kW wird beispielsweise der Brennstoff Holzpellets in einem aufsteigenden Bett pyrolysiert und in einer Wirbelschicht vergast und ausgetragen oder der Brennstoff Hackschnitzel im absteigenden Gleichstromvergaser mit Gas-Ottomotor eingesetzt. Verschiedene Anbieter mit unterschiedlichen Technologien bedienten in den Jahren 2005 bis 2008 den elektrischen Leistungsbereich $> 500 \text{ kW}$ bis 5 MW , darunter aufsteigende Gleichstromvergaser, gestufte Vergaser und Doppelfeuerungsvergaser. Die Anlagen erfordern allerdings einen hohen Wartungsaufwand. Alle derzeit in Deutschland angebotenen Vergasungsanlagen sind für den Brennstoff Holz in Form von Hackschnitzel oder Pellets konzipiert. Verschiedene Hersteller geben an, dass ihre Anlagen auf dem internationalen Markt auch für alternative Brennstoffe nachgefragt werden.

Ausgewählte Ergebnisse

Eine detaillierte Beschreibung der Methodik und die vollständigen Ergebnisse können im Enderbericht des DBFZ zum Bundesmessprogramm¹ nachgelesen werden. Im Folgenden sind diese nur auszugsweise und komprimiert dargestellt.

Technische Bewertung

Ziel der technischen Bewertung der im Bundesmessprogramm ausgewählten und in Tabelle 1 aufgeführten Biomassevergasungsanlagen ist der Vergleich und die Bewertung der erarbeiteten Bilanzkenngrößen, um eventuelle Schwachstellen oder vielversprechende Konzepte zu identifizieren.

¹ Online verfügbar unter <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/741107678.pdf>

Tabelle 1: Anlagenauswahl zur technischen, ökologischen und ökonomischen Bewertung

Anlage	Abk.	Betreuung	Entwicklungsstand	Datenquelle der Kennzahlen
Spanner 30 kW _{el}	A1	HSZG	Kommerzielle Anlage	Langzeitmonitoring + Punktbilanz
Rosenheim 38 kW _{el}	A2	DBFZ	Versuchsanlage	Punktbilanz
Rosenheim 180kW _{el}	A3	DBFZ	Konzept/Scale up	Hochrechnung auf Basis A2
Burkhardt 180 kW _{el}	A4	ZAE	Kommerzielle Anlage	Langzeitmonitoring + Punktbilanz
Bayern 93 kW _{el}	A5	IFF	Demoanlage	Langzeitmonitoring + Punktbilanz
Fossile Referenz – Erdgas-BHKW 160 kW _{el}	A6	DBFZ	Kommerzielle Anlage	Ecoinvent Datenbank

Tabelle 2 zeigt im Überblick die Bilanzkennzahlen der Anlagen, bei denen die technische Bewertung durchgeführt wurde. Es ist zu beachten, dass die Anlage der Stadtwerke Rosenheim A2 nur eine Versuchsanlage und die Anlage A3 eine skalierte Demoanlage ist. Die Anlagen A1, A4 sind kommerzielle Anlagen und A5 hingegen eine Demoanlage.

Tabelle 2: Bilanzkennzahlen ausgewählter Anlagen des Bundemessprogramms

Bilanzkenngröße	Einheit	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Brennstoffleistung	kW	160,5	202,0	654,0	581,0	492,5	-
Feuerungswärmeleistung	kW	123,5	188,0	608,0	541,0	515,1	444,0
Bezugsleistung	kW	2,2	5,0	10,0	7,6	15,0	5,0
Nennwärmeleistung	kW	62,1	83,0	209,0	213,0	79,4	204,0
Intern genutzte Wärmeleistung (inkl. Trocknungswärme)	kW	9,4	9,0	42,0	0	101,1	-
Nutzwärmeleistung	kW	60,1	0	170,0	213,0	40,0	204,0
Wärmenutzungsgrad	%	97	0	81	100	50,4	100
Elektrische Anlagenleistung	kW	27,9	38,0	180,0	169,0	93,4	165,0
Leistung der Nebenprodukte	kW	25,3	-	-	-	-	-
Gasleistung	kW	102,1	140,0	486,0	423,0	282,5	444,0
Leistung der Reststoffe	kW	2,2	4,7	23,5	64,2	n.b.	-
Kaltgaswirkungsgrad	%	83,0	74,0	80,0	78,0	54,8	-
Gesamtwirkungsgrad BHKW	%	86,7	86,7	80,0	83,0	84,5	82,0
Elektrischer Anlagenwirkungsgrad*	%	17,1	18,4	27,1	28,7	18,4	36,0
Thermischer Anlagenwirkungsgrad*	%	38,2	40,1	31,5	36,2	15,6	46,0
Chemischer Anlagenwirkungsgrad*	%	15,6	-	-	-	-	-
Gesamtanlagenwirkungsgrad*	%	70,9	58,5	58,6	64,9	34,0	82,0

* Netto-Wirkungsgrade

Abbildung 4 stellt die in die Anlagen ein- und austretenden Leistungen gegenüber. Es zeigt sich, dass sich die Reststoffmengen und damit deren Leistung an manchen Anlagen nicht immer vollständig oder überhaupt erfassen lassen. Beispiele dafür sind Anlage A2 und A5. Die in die Anlagen eintretende Brennstoff- und Bezugsleistung wird bei allen Anlagen in Nutzwärmeleistung, elektrische Anlagenleistung und die Leistung der Reststoffe umgewandelt. Werden, wie beim Anlagenkonzept A1, auch Bioenergieträger erzeugt, verlässt zusätzlich noch die Leistung der Bioenergieträger die Anlage. Abgeleitet aus diesen Größen wird der Gesamtanlagenwirkungsgrad bestimmt, der ebenfalls in Abbildung 4 dargestellt ist. Vergleicht man die Anlagen A3, A4 und A5, so zeigt sich, dass die Anlagen A3 und A4 trotz der unterschiedlichen Anlagenkonzepte vergleichbar arbeiten und dass Anlage A5 weniger als die Hälfte der Inputleistungen in Outputleistungen umwandelt, wodurch sich der geringe Gesamtanlagenwirkungsgrad erklären lässt.

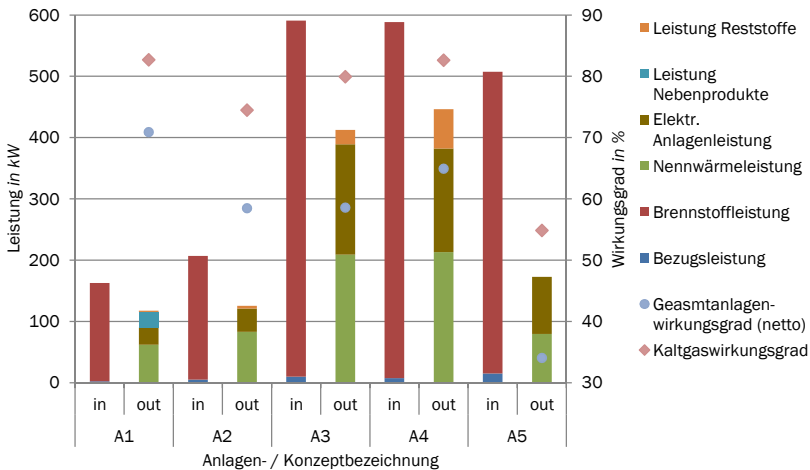


Abbildung 4: Vergleich der In- und Outputleistungen ausgewählter Anlagen (eigene Berechnungen)

Ökologische Bewertung

Für die ökologische Bewertung der hier betrachteten Biomassevergasungsanlagen kommt das Instrument der Ökobilanzierung (auch Life Cycle Analysis, LCA) zum Einsatz. Für die Erstellung einer solchen Bilanz existieren die international gültigen Normen ISO 14040 und ISO 14044. Zur Erstellung einer Ökobilanz wird der Lebenszyklus des untersuchten Produktes von der Rohstofferschließung und -gewinnung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung analysiert, um alle mit diesem Produkt verbundenen Effekte zu erfassen. Dabei werden auch alle entlang des Lebensweges verwendeten Hilfs- und Betriebsstoffe betrachtet. Die mit der Produktion und Nutzung dieser Hilfs- und Betriebsstoffe sowie der sonstigen Produkte und Dienstleistungen verbundenen Aufwendungen und Emissionen werden in der THG-Bilanz des aus der Verbrennung des Produktgases erzeugten Stroms berücksichtigt.

Spezifische Treibhausgasemissionen

Die Abbildung 5 gibt einen Überblick über die THG-Emissionen der betrachteten Biomassevergasungskonzepte. Die unterstellten Annahmen entsprechen dem im Endbericht des DBFZ vorgestellten Szenario 2 (wärmegeführte Betriebsweise²).

Deutlich erkennbar sind in der Abbildung 5 die im Negativbereich der Y-Achse abgetragenen Emissionsgutschriften für extern genutzte Wärme. Hier folgt man der Annahme, dass die für die externe Nutzung bereitgestellte Wärme des Biomassevergasungskonzeptes Nutzwärme eines Erdgas-Referenzsystems substituiert und die mit deren Bereitstellung verbundenen Emissionen vermieden werden. Bei dem Referenzsystem handelt es sich um einen Erdgasheizkessel < 100 kW. Der Emissionsfaktor für das Referenzsystem wurde der Ecoinvent Datenbank entnommen.

Die aus den Biomassevergasungsprozessen resultierenden spezifischen THG-Emissionen sind in Abbildung 5 als grau schraffierte Säulen auf der Y-Achse abgetragen, gestapelt von unten nach oben aus den Segmenten Biomassebereitstellung, Biomassekonversion und BHKW bestehend. Der aggregierte Wert für die Biomassebereitstellung setzt sich aus den Emissionen der Hackschnitzel- bzw. Pelletbereitstellung und den Transportprozessen zusammen. Die Emissionen aus der Biomassebereitstellung sind auf die Weiterverarbeitung des Wald- und Industrierestholzes beschränkt. Auffällig in der Gesamtbetrachtung sind die relativ hohen Emissionen der Biomassebereitstellung des Konzeptes A4. Dieses Konzept setzt im Gegensatz zu den anderen Konzepten anstelle der Holzhackschnitzel Holzpellets ein. Das Pelletieren verursacht durch den höheren Bedarf und den Einsatz von Netzstrom deutlich höhere THG-Emissionen als die Holzhackschnitzelproduktion. Des Weiteren wurden für dieses Konzept längere Transportwege angenommen.

Weitere Treiber der Gesamtemissionen sind die Emissionen aus der Biomassekonversion. Diese Emissionen sind über alle Konzepte zu mehr als 95 % auf den Strombedarf und die Verwendung des deutschen Netzstroms zurückzuführen, wobei die Anlagen A2 und A5 durch einen höheren Strombedarf emissionsintensiver sind.

Dritte und letzte Stufe der betrachteten Prozesskette ist die Verbrennung des Produktgases im BHKW. Die damit verbundenen Emissionen sind in der Grafik am oberen Ende des Balkens abgetragen. Biogene CO₂-Emissionen gehen nicht in die Berechnung mit ein, da man davon ausgeht, dass die Biomasse die gleiche Menge an CO₂ während des Wachstums aus der Luft aufgenommen hat. Dementsprechend gering stellen sich die aus der Verbrennung resultierenden Emissionen dar. Während die klimarelevanten Emissionen der Konzepte A1, A2, A3 und A5 in erster Linie auf nicht verbranntes Methan im Abgasstrom des BHKW zurückzuführen sind, werden die deutlich höheren Emissionen des Konzeptes A4 durch den Einsatz von Rapsöl als Zündöl verursacht.

THG-Vermeidungspotential

Um die ermittelten THG-Bilanzen der Biomassevergasungsanlagen bewerten und einordnen zu können, ist es notwendig die Ergebnisse Referenzsystemen gegenüber zu stellen. Bei den gewählten konventionellen Referenzsystemen handelt es sich zum einen um den Erzeugungsmix des deutschen Netzstroms und zum anderen um ein Erdgas-BHKW.

² Szenario 1: Stromgeführt bedeutet hier eine Betriebsweise mit 8 000 h/a und eine Wärmenutzung von 60 %. Im wärmegeführten Szenario 2 hingegen wird eine Betriebsweise mit 6 000 h/a und eine Wärmenutzung von 100 % abgebildet.

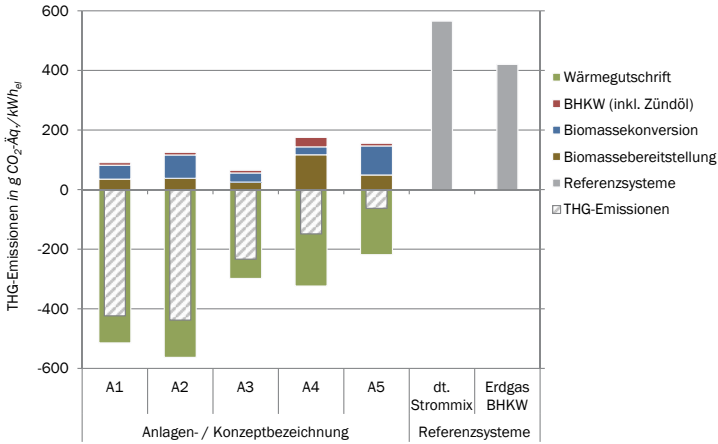


Abbildung 5: Spezifische THG-Emissionen der Anlagen in $g_{CO_2-Aq.}$ je kWh Strom (eigene Berechnungen)

Wie in Abbildung 6 dargestellt, zeigen alle Biomassevergasungskonzepte sowohl gegenüber dem Referenzsystem Strommix als auch gegenüber dem Vergleichssystem Erdgas-BHKW deutliche THG-Minderungen (die Minderungen gegenüber Erdgas-BHKW sind als hellgraue, die gegenüber Strommix als dunkelgraue Punkte dargestellt). Die hohen Minderungen sind der Tatsache geschuldet, dass die Gesamtemissionen der Biomassevergasungsprozesse über alle Konzepte im negativen Wertebereich liegen. Sie zeigen den wesentlichen Einfluss, den die Wärmenutzung und die Wärmeberücksichtigung auf das Gesamtergebnis und die damit verbundenen THG-Minderungen hat.

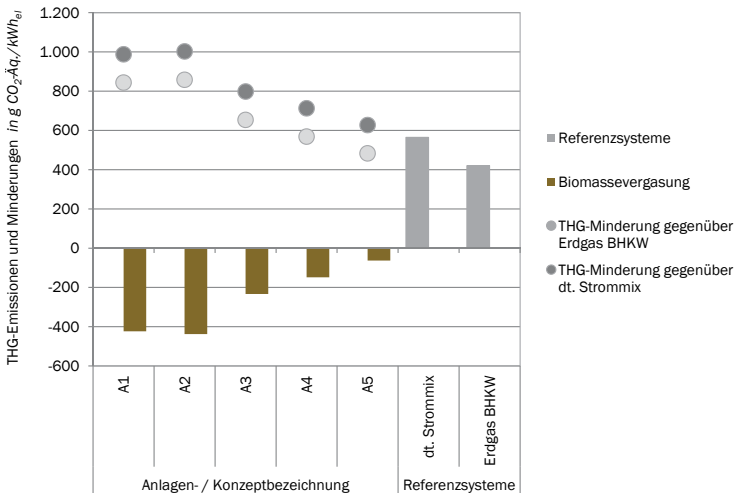


Abbildung 6: Spezifische THG-Minderung gegenüber Referenzsystemen (eigene Berechnungen)

Ökonomische Bewertung

Einer der größten Vorteile der kleintechnischen Biomassevergasung ist deren nahezu problemlose Integration in die derzeitige Energieinfrastruktur. Die Grundlastfähigkeit und die Regelbarkeit sind dabei besonders bei einer immer stärker fluktuierenden Energiebereitstellung herausragende Eigenschaften. Jedoch muss für eine nachhaltige Nutzung der limitierten biogenen Ressourcen der weitere Ausbau der kleintechnischen Biomassevergasung besonders effizient, ökologisch und sozialverträglich erfolgen. Wegen der großen Bandbreite biogener Rohstoffe und Verfahren ist es erforderlich, verschiedene KWK-Anlagen zu analysieren, sowie untereinander und mit einer geeigneten fossilen Referenz zu vergleichen.

Stromgestehungskosten

In Abbildung 7 sind für die ausgewählten Anlagen und Anlagenkonzepte unter den Randbedingungen des Szenarios 1 (stromgeführter Betrieb) die Stromgestehungskosten dargestellt. Bei dem Vergleich der kleintechnischen Biomassevergasungsanlagen untereinander, schneiden Anlage A3 und A4 mit einer mittleren elektrischen Leistung von ca. 160 kW am besten ab, wobei sich das Anlagenkonzept A3 unter den gewählten Annahmen als einziges betriebswirtschaftlich erweist. Die durchschnittlichen Gestehungskosten während des Betrachtungszeitraums sind mit 18 €/ct/kWh geringer als die anlagenspezifische EEG-Vergütung in Höhe von 20 €/ct/kWh, wodurch ein Überschuss über den Betrachtungszeitraum erwirtschaftet werden kann.

Deutlich zu erkennen sind die Skaleneffekte und der höhere elektrische Anlagenwirkungsgrad des Anlagenkonzeptes A3 und der Anlage A4 gegenüber den Anlagen A1 und A2, da sowohl die spezifischen kapitalgebundenen Kosten, die verbrauchsgebundenen Kosten sowie die Gutschrift für Koppelprodukte (hauptsächlich Wärme) der Anlagen A3 und A4 deutlich geringer sind.

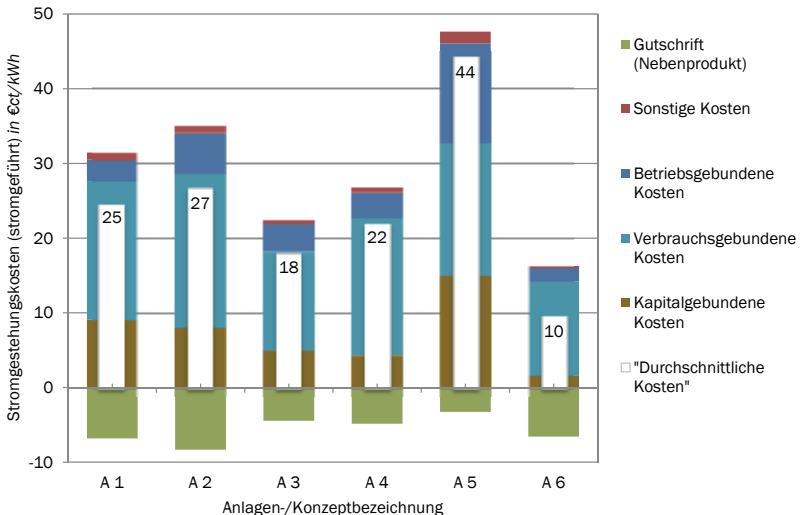


Abbildung 7: Durchschnittliche Stromgestehungskosten (stromgeführt, eigene Berechnungen)

Besonders auffällig sind die ökonomischen Ergebnisse der Versuchsanlage A5. Da bei der Bestimmung der Investitionssumme sämtliche Aufwendungen während der Entwicklungszeit mit einfließen und kein Fokus auf der Optimierung des Anlagenwirkungsgrads sondern eher auf der Stabilisierung des Anlagenbetriebs lag, fallen die Stromgestehungskosten deutlich höher als bei den kommerziellen Anlagen und -konzepten aus. Folglich genügt bei Anlage A5 die EEG-Vergütung nur zur Deckung der Rohstoffkosten sowie für einen Teil der Betriebskosten. Somit ist auch bei einer Betrachtung der Investition als „versunkene Kosten“ kein wirtschaftlicher Betrieb möglich.

Die Anlagen A1 und A4 sowie das Anlagenkonzept A2 bewegen sich am Rande der Wirtschaftlichkeit, werden aber während des Betrachtungszeitraums durch die Rohstoffteuerung bei gleichbleibender EEG-Vergütung unrentabel. Die fossile Referenz, des Erdgas-BHKW mit einer installierten elektrischen Leistung von 160 kW, ist unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich, d. h. die durchschnittlichen Stromgestehungskosten liegen unter der Vergütung. Die geringe Anlagenkomplexität sowie der fortgeschrittene Entwicklungsstand werden im Vergleich zu den Biomassevergasungsanlagen deutlich durch die geringen spezifischen kapitalgebundenen und betriebsgebundenen Kosten wiedergespiegelt.

Treibhausgasvermeidungskosten

Die THG-Vermeidungskosten und THG-Minderungen der untersuchten kleintechnischen Biomassevergasungsanlagen sind für den stromgeführten Betrieb in Tabelle 3 dargestellt. Dabei liegen die THG-Vermeidungskosten gegenüber dem Erdgas-BHKW in einem Bereich von 116 bis 582 €/t_{CO₂-Äq.}, wobei die THG-Minderungen zwischen 530 und 780 €/t_{CO₂-Äq.} liegen. Die Berechnung der Stromgestehungskosten fand im Gegensatz zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ohne eine Einbeziehung möglicher Kosten- bzw. Preissteigerung statt. Damit bewegt sich eine Kostendifferenz zwischen Biomassevergasungsanlagen und dem Erdgas-BHKW (fossile Referenz) von 8 bis 15 €/ct/kWh_{el} bzw. 31 €/ct/kWh_{el} im Fall der Forschungsanlage. Diese ausgenommen, zeigt sich hier vermeintlich eine konträre Zielstruktur zwischen ökologischer und betriebswirtschaftlicher Vorteilhaftigkeit. Eine hohe Treibhausgasminderung scheint nicht mit niedrigen Stromgestehungskosten bzw. mit einer geringen Kostendifferenz zur fossilen Referenz zu korrelieren. Vielmehr besitzen Anlage A3 und A4 das geringste THG-Vermeidungspotenzial unter den marktreifen Anlagen und gleichzeitig weisen diese die niedrigsten Stromgestehungskosten auf.

Tabelle 3 THG-Vermeidungskosten ausgewählter Anlagen des Verbundprojekts - Szenario 1 (stromgeführt, ohne Preissteigerung, fossile Referenz: Erdgas-BHKW, eigene Berechnungen)

Szenario 1 - stromgeführt (fossile Referenz: Erdgas-BHKW)	Einheit	A1	A2	A3	A4	A5
THG-Emission (Biomassevergaser-BHKW)	g _{CO₂-Äq.} /kWh _{el}	-229	-213	-114	-19	24
THG-Emission (Erdgas-BHKW)	g _{CO₂-Äq.} /kWh _{el}	551	551	551	551	551
THG-Minderung	g _{CO₂-Äq.} /kWh _{el}	780	764	665	570	527
Stromgestehungskosten (Biomassevergaser-BHKW)	€/ct/kWh _{el}	21	23	15,3	18,3	38
Stromgestehungskosten (Erdgas-BHKW)	€/ct/kWh _{el}	8	8	8	8	8
Kostendifferenz	€/ct/kWh _{el}	13	15	8	11	31
THG-Vermeidungskosten	€/t _{CO₂-Äq.}	172	200	116	188	582

Zusammenfassung

Durch den Anspruch des Bundesmessprogramms zur Weiterentwicklung der kleintechnischen Biomassevergasung die bisherigen Forschungsansätze zusammenzuführen und auszubauen, um somit einen übergreifenden Erkenntnisgewinn zu generieren, weisen die Ergebnisse ein hohes Maß an Interdisziplinarität auf. Dabei stehen folgende Themenbereiche im Zentrum:

- Messtechnik, Messmethoden und Bilanzierung von Biomassevergasern
- Technische Bewertung
- Ökologische Bewertung
- Ökonomische Nachhaltigkeit

Messtechnik, Messmethoden und Bilanzierung von Biomassevergasern

Durch die in den Vergleichsmessungen festgestellte gute Übereinstimmung der Permanentgasmessergebnisse können die genutzten Messgeräte ohne Bedenken für die Analyse von Brenngas von Vergasungsanlagen genutzt werden. Die Auswertungen der Ergebnisse zeigten jedoch, dass die Kalibrierung und Feststellung der Messbedingungen (Messgasfeuchte, Querempfindlichkeiten, Analysezeiten, etc.) der Messgeräte entscheidend für die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Messergebnisse sind. Falls möglich, sollten alle Messgeräte, sofern ein Vergleich der Messergebnisse angestrebt ist, mit demselben Prüfgas kalibriert werden, wobei das Prüfgas eine ähnliche Zusammensetzung wie das zu messende Rohgas besitzen sollte.

Die Ergebnisse der verschiedenen Teermessverfahren sind nur schwer vergleichbar, da Unterschiede bei den Probenahmen, den Messintervallen und den Analyseverfahren der Extraktionslösungen bestehen. Generell sind die größten Unsicherheiten bei den Probenahmen an der Anlage und bei der Analyse der Teerproben in externen Labors zu sehen. Wegen hoher Unsicherheiten bei der Bestimmung von Kohlenwasserstoffen in externen Labors sollte bei der zur Analyse der Teerproben zusätzlich immer ein Standard oder eine verdünnte Probe mituntersucht werden, um eine höhere Sicherheit bei der Bewertung der Ergebnisse zu erzielen. Mit den periodischen Messverfahren lassen sich nur Aussagen zur mittleren Gasqualität während eines Intervalls treffen. Erkenntnisse über den Einfluss konkreter Prozessparameter (z. B. Reaktortemperatur) sind nur begrenzt und nur unter einer stabilen Prozessführung möglich. Im Gegensatz dazu verspricht die SPA-Methode ein leichtes Handling. Der hohe Aufwand des Teerprotokolls, sowohl bei der Entnahme als auch bei der Nach- und Aufbereitung der Probe, und die damit einhergehende Fehleranfälligkeit kann so vermieden werden. Die hohe Korrelation der SPA-Ergebnisse zu dem Methangehalt des Produktgases sprechen zudem für eine qualitativ hochwertige Analyse und Reproduzierbarkeit der Messungen.

Im Allgemeinen sollte man sich bei der Bestimmung von Messgrößen mit dem Ziel der Bilanzierung einer Vergasungsanlage auf die wichtigsten Messgrößen beschränken. Diese sollten mit der größten Sorgfalt bestimmt werden. Dabei spielt die Dokumentation der Messbedingungen eine wichtige Rolle, da sie einen sehr großen Einfluss auf die Vergleichbarkeit mit anderen Daten hat. Für eine technische Bewertung und Bilanzierung von Vergasungsanlagen ist eine sichere Datenbasis, eine einheitliche Definition der Bezugsgrößen sowie die Angabe der Parameter die Grundvoraussetzung.

Technische Bewertung

Die technische Bewertung der fünf ausgewählten Anlagen im Bundesmessprogramm hat gezeigt, dass die kommerziell betriebenen Anlagen unabhängig von der Brennstoffform und dem Anlagenkonzept hohe Wirkungsgrade bezogen auf den Vergaser selbst und auf die Gesamtanlage haben. Gründe dafür sind ein Anlagenkonzept, das optimal auf die jeweils verschalteten Prozesse und den verwendeten Brennstoff abgestimmt ist, sowie ein optimiertes Wärmenutzungskonzept.

Weiterhin hat sich während des Bundesmessprogramms bei der Vorbereitung der technischen Bewertung gezeigt, dass ein Monitoring der wichtigsten Anlagenparameter zwingend erforderlich ist. Biomassevergasungsanlagen sollten daher zur Stabilisierung des Anlagenbetriebes (Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit) und zur Erhöhung der Anlagensicherheit messtechnische Einrichtungen zur Erfassung der wichtigsten Anlagenparameter besitzen. Es hat sich gezeigt, dass sich durch diese Überwachung kritische Anlagenzustände vermeiden lassen und somit Anlagenstillstandszeiten verkürzt sowie die Anlagensicherheit zusätzlich erhöht werden kann. Durch das Anlagenmonitoring der wichtigsten Parameter wird auch die technische Bewertung der Anlagen erheblich erleichtert.

Die betrachteten Anlagenkonzepte im Bundesmessprogramm lassen auch den Schluss zu, dass sich ein höherer Aufwand bei der eigentlichen Biomassekonversion im Vergaser, z. B. durch den Einsatz von Holzpellets oder einer zweistufigen Vergasung mit Pyrolyse und Pyrolysekoksvergasung, nachfolgend bei der Komplexität der Gasreinigung auszahlt. So kann bei den angesprochenen Beispielen ein Rohgas mit einer sehr geringen Teerbelastung erzeugt werden, das mit einfacher Technik lediglich gekühlt und gefiltert werden muss, um eine motorische Nutzung anzuschließen. Die dabei anfallenden Reststoffe sind zudem weniger hochbelastet.

Ökologische Bewertung

Das Gesamtergebnis der THG-Bilanzierung wird im Wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst:

- der für die externe Nutzung bereit gestellten Wärme sowie dem methodischen Vorgehen zu deren Berücksichtigung,
- dem elektrischen Wirkungsgrad des BHKW und
- dem für die Konversion benötigten Strom.

Bei der gewählten Bilanzierungsmethode sind neben den prozessbedingten Emissionen die Substitutionsgutschriften extern genutzter Wärme ergebnisbestimmend. So erzielen Anlagen mit einem hohen thermischen und vergleichsweise niedrigen elektrischen Anlagenwirkungsgrad eine höhere spezifische THG-Minderung. Substitutionsbereinigte Werte ohne Wärmenutzung zeigen den ökologischen Effekt eines hohen elektrischen Wirkungsgrades deutlich und heben die Bedeutung einer bedarfsgerechten Betriebsweise und damit verbundenen externen Wärmenutzung hervor.

Der Einsatz von Netzstrom und der damit verbundene Verbrauch fossiler Energieträger ist innerhalb der Prozesskette der betrachteten Biomassevergasungsanlagen ein wesentlicher Treiber klimarelevanter Emissionen. Ein höherer Anteil regenerativer Energien im Erzeugungsmix oder die Eigennutzung bereitgestellten Stroms könnte zu einer Minderung der THG-Emissionen führen.

Wirtschaftlichkeit und ökonomische Nachhaltigkeit

Die ökonomische Analyse der ausgewählten Anlagen zeigt, dass im Allgemeinen größere Biomassevergasungsanlagen aufgrund von Skaleneffekten zu einem geringeren spezifischen Kapitalbedarf sowie zu höheren elektrischen Wirkungsgraden und somit zu geringeren Produktionskosten neigen. Dennoch ist auch für diese, genauso wie für Anlagen kleinerer Leistungsklassen, eine ausreichend große Wärmesenke für den Dauerbetrieb einer Biomassevergasungsanlage zwingend notwendig, um die dort anfallende Wärme möglichst vollständig zu nutzen und einen wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen. Zukünftige Biomassevergasungsanlagen sollten ein optimiertes Wärme-Nutzungskonzept haben, um die anfallende Wärme nahezu vollständig nutzen zu können. Dabei ist eine Versorgung einer qualitativ hochwertigen Wärmesenke, d. h. die Substitution fossiler Energiebereitstellung und hochpreisige Vergütung, anzustreben, da beide Faktoren eine hohe Relevanz für THG-Minderungen und THG-Vermeidungskosten aufweisen. Die bislang geltende These, niedrige spezifische Investitionssumme gleich geringe Anlagenkomplexität und Rohstoffflexibilität, gilt zwar noch immer, wird aber durch die Entwicklungsanstrengungen und neue Anlagenkonzepte der Stadtwerke Rosenheim scheinbar entkräftet. So sind eine hohe Rohstoffflexibilität und eine niedrige spezifische Investitionssumme mittelfristig denkbar, aber auch bei gegebener Vergütung und Rohstoffpreisen zwingend notwendig.

Jedoch wird ersichtlich, dass die KWK mittels Biomassevergasung bei derzeitigen Rohstoffpreisen und ohne Internalisierung der externen Kosten fossiler Rohstoffe nicht mit der fossilen KWK konkurrieren kann und auch mittelfristig und ohne staatliche Subventionen nicht wettbewerbsfähig sein wird. Ungewürdigt bei dieser Betrachtung bleibt der preisdämpfende Effekt von Bioenergie. Durch den Einsatz biogener Rohstoffe zur Energiebereitstellung wird die Nachfrage nach fossilen Energieträgern weltweit verringert, was gleichzeitig zu einer Entlastung des fossilen Rohstoffmarkts führt und die Preise stabilisiert. Bezieht man die Treibhausgasemissionen in die ökonomische Betrachtung mit ein, verstärkt sich der positive Eindruck von effizienten KWK-Anlagen mit hohem Gesamtwirkungsgrad, da diese nicht nur besonders günstige Gestehungskosten sondern auch niedrige THG-Emissionen aufweisen und dadurch die THG-Vermeidungskosten deutlich sinken. Mit der vom Gesetzgeber eingeführten EEG-Vergütung und bei derzeitigen Rohstoffpreisen besitzt die kleintechnische Biomassevergasung jedoch einen Wettbewerbsvorteil gegenüber fossiler KWK oder Wärmebereitstellung.

Ausblick

Die Anzahl und Leistung der in 2011 erfolgten Inbetriebnahmen von Holzvergasungsanlagen beendet eine dreijährige Phase der Stagnation, in der sich Zubau und Stilllegung von Kapazitäten fast die Waage hielt. Zudem soll nach Angaben der Hersteller die Anzahl der sich in Betrieb befindenden Anlagen in 2012 weiterhin deutlich ansteigen. Die Entwicklung unterscheidet sich signifikant von der Situation in den Jahren 2005 bis 2007, in denen ebenfalls viele neue Anbieter in den Markt eintraten. Mehrere Aspekte lassen erwarten, dass bei der derzeitigen Entwicklung ein Marktdurchbruch für die thermochemische Vergasungstechnologie bevorstehen kann:

- Der überwiegende Teil des Zubaus beruht auf Festbettvergasungsanlagen im kleintechnischen Leistungsbereich kleiner, in Serienproduktion gefertigter.

- Aus technischer Sicht erscheint eine Vielzahl der Anlagen robust. Probleme mit ungenügender Gasqualität sind beim Einsatz geeigneter MSR beherrschbar und somit 7.000 jährliche Volllaststunden durchaus erreichbar. Im kleinen Leistungsbereich (100 kW_{el}) erscheinen die absteigende Gleichstromvergasung marktfähig. Weiterhin gibt es auch Gegenstromvergasungsanlagen, die sich vor dem Markteintritt (Demoanlagen) befinden, aber im Gegensatz zu Gleichstromvergasern mehr Probleme mit der Brenngasqualität haben.
- Bei der Entwicklung der Vergasungsreaktoren wird vermehrt Wert auf ein teerarmes Brenngas gelegt, dabei werden z.B. mehrstufigen Vergasungsreaktoren und Pellets an Stelle von einstufigen Reaktoren und Hackschnitzeln eingesetzt, um einen hohen Heizwert, niedrige Schadstoffe sowie eine hohe Anlagenverfügbarkeit und -sicherheit zu gewährleisten. Darüber hinaus werden schon bestehende Vergasungsreaktoren hinsichtlich Brenngasqualität, Anlagenverfügbarkeit und -sicherheit weiter optimiert.
- In Bezug auf die Brenngasreinigung besteht weiterhin Forschungsbedarf, um eine trockene und effiziente Reinigung des Brenngases an Anlagen mit hohen Teerbelastungen dauerhaft zu gewährleisten. Die Vermeidung von Nebenprodukten und Reststoffen, die in der Anlage rezirkuliert oder entsorgt werden müssen, steht dabei im Vordergrund. Weiterhin wird an dauerbetriebsfähigen Hochtemperaturfiltern gearbeitet, die eine unnötige sich negativ auf den Anlagenwirkungsgrad auswirkende Abkühlung des Brenngases mit nachfolgender Wiedererwärmung verhindern sollen. Weiterhin werden bestehende Gasreinigungskonzepte weiterentwickelt um den Reststoffanfall und dessen Entsorgung/Nutzung sowie den Wirkungsgrad zu optimieren.
- Die Serienproduktion ermöglicht spezifische Anlagenkosten von 3.000 bis 3.500 €/kW_{el} für mittelgroße Anlagen (> 150 kW_{el}). Damit ist unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ein wirtschaftlicher Betrieb möglich. Kleinere Anlagen benötigen hingegen aufgrund des geringeren elektrischen Gesamtwirkungsgrades tendenziell günstigere Rohstoffpreise und eine höhere Wärmevergütung, um einen kostendeckenden Betrieb zu gewährleisten.
- Bei technisch optimierter Anlagenauslegung und einem hohen Wärmenutzungsgrad können die THG-Vermeidungskosten mittelfristig unter 100 €/t_{CO₂-Äqu.} sinken.

Handlungsempfehlungen

Eine Fortführung des Bundesmessprogramms ist zweckmäßig, da viele Fragen bezüglich der Flexibilisierung und Netzintegration nicht endgültig geklärt und für die Neuausrichtung des EEG notwendig sind. Dabei müsste jedoch eine Anpassung der Inhalte, die in diesem Zusammenhang betrachtet werden sollten, erfolgen. Die nachfolgend dargestellten Schwerpunktthemen werden abschließend hinsichtlich der Relevanz für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft eingeordnet.

Sicherheitskonzept, Messtechnik und Maßnahmen zur Emissionsminderung

Ein Mindestmaß an Sicherheits- und damit auch Messtechnik ist für den Betrieb von Biomassevergasungsanlagen zwingend erforderlich, da eine erhöhte Brand-, Explosions-, Vergiftungs- und Erstickungsgefahr besteht. Derzeit stammen Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen an Biomassevergasungsanlagen gemäß Artikel 95 des EG-Vertrags aus europäischen Richtlinien. Dabei unterliegen aber nur bestimmte Teile einer Biomassevergasungsanlage und die vollständige Anlage einer CE-Kennzeichnung, Konformitätsbewertung und -erklärung. Der Hersteller hat jedoch ausdrücklich die Pflicht, eine Betriebsanleitung, die auf Gefahren eingeht, die von der Anlage ausgehen können, mitzuliefern. Zudem sind Schutzeinrichtungen zu beschreiben und Sicherheitsvorkehrungen darin enthalten. Dies schließt sowohl die In- und die Außerbetriebnahme als auch die Instandhaltung der Anlage mit ein. Als problematisch sind jedoch besonders solche Anlagen anzusehen, bei denen der Hersteller gleichzeitig Betreiber ist und bei denen keine ausreichende Risikoprüfung vorgenommen wurde. Oft führt eine unzureichende Sicherheits- und Messtechnik zu gefährlichen Anlagenzuständen, Beeinträchtigungen der Umwelt und ungeplanten Stillständen. Ein umfassender Leitfaden für Betreiber, Hersteller und Behörden bezüglich Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen ist daher zu empfehlen und könnte durch die geplante VDI Richtlinie 3461 „Maßnahmen zur Emissionsminderung an Holzvergasungsanlagen“ entstehen.

Des Weiteren lässt nur eine geeignete Online-Messung und Datenerfassung der wichtigsten Betriebsparameter ein flexibles Lastmanagement und eine Stabilisierung der Energienetze zu. Dabei sind neben den Potenzialen der Biomassevergasung mögliche Anlagenkonzepte hinsichtlich zukünftiger Anforderungen und deren Einfluss auf die Technik, Ökonomie und Ökologie zu untersuchen.

Einheitliche Methodik bei der technischen Bewertung

Bei der technischen Bewertung von Biomassevergasungsanlagen werden derzeit in unterschiedlichen Institutionen verschiedene Bewertungskriterien und Anlagenkenn- sowie Bezugsgrößen verwendet. Damit entstehen besonders für Betreiber, Hersteller und Behörden Unsicherheit und Unschärfe, die eine sichere Beurteilung nahezu unmöglich machen. Für die Zukunft sollten Anlagenkenngrößen klar definiert, harmonisiert und bei anstehenden Projekten möglichst mit einem einheitlichen Messverfahren und Methoden bestimmt werden. Dabei kann das „Methodenhandbuch - Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagase“ (Thrän/Pfeiffer 2012) eine Ausgangsbasis bieten. Zudem wird das Messhandbuch „Biomassevergasung“, das 2013 als Arbeitsversion beim DBFZ erscheinen wird, wichtige Leitplanken bei der Auswahl der Messgrößen und -verfahren vorschlagen. Die Festlegung der zu erfassenden Parameter und Methoden kann somit dazu beitragen, die Transparenz in der Biomassevergasungsbranche zu erhöhen und das Investitionsrisiko signifikant zu senken.

Aufbau eines öffentlichen Monitorings bzw. einer Informationsplattform

Neben einer zukünftig stärkeren Gewichtung der Biomassevergasung im EEG-Monitoring, insbesondere vor dem Hintergrund der Entwicklung zukünftiger Strategien für den KWK-Sektor und der Nutzung verfahrenstechnisch anspruchsvoller Reststoffe, wie z. B. Stroh, sollte zudem eine öffentliche Plattform geschaffen werden. Ziel dieser Plattform ist es, die

wichtigsten Anlagenparameter von und für Hersteller, Betreiber und Investoren zugänglich zu machen. Dabei müssen die dort bereitgestellten Kenngrößen eine einheitliche Basis in Bezug auf Bestimmung (Messverfahren) und Auswertung (Berechnungsgrundlagen und Bezugsgrößen) aufweisen bzw. die Berechnungen und Annahmen beschrieben werden. Der Ausgangspunkt dafür kann zum einen die im Bundesmessprogramm aufgebaute Datenbank sein, die derzeit online über die Homepage des Förderprogramms www.energetische-biomassenutzung.de/de/biomassevergasungsanlagen.html verfügbar ist. Eine tiefergehende Integration wäre über die Nutzung der ebenfalls innerhalb des Förderprogramms erstellten Datenbank BioProcDB (<http://bioprocdb.dbfz.de/>) möglich. Aktuell sind in dieser für jeden Interessierten zugänglichen Anwendung über 1.000 Datensätze zu biogenen Einsatzstoffen, deren Pyrolyse und Produkte enthalten. Eine Erweiterung in Richtung der Biomassevergasung wäre möglich und würde zu einer weiteren Konzentration des Wissens zu thermochemischen Biomasseverfahren führen. Zum anderen wird zusammen mit den harmonisierten technischen und ökonomischen Bewertungen des Methodenhandbuchs eine Informationsplattform mit vergleichbaren Daten geschaffen.

Förderung optimaler Wärmenutzungskonzepte und Reststoffnutzung

Die ökologische Bewertung hat den großen Einfluss der Wärmenutzung auf das THG-Einsparpotenzial deutlich gezeigt. Gleichzeitig sinkt die Wirtschaftlichkeit von Anlagen mit hohen spezifischen Investitionssummen, die bei einer Verringerung der Jahresvolllaststunden, um den Wärmenutzungsgrad zu erhöhen, höhere Stromgestehungskosten aufweisen. Davon sind besonders kleine Anlagen betroffen, da durch die fehlenden Skaleneffekte der Anteil der Fixkosten an den Produktionskosten steigt. Um dieses Problem zu lösen, erscheinen zwei Optionen zielführend. Zum einen könnte eine zusätzliche KWK-Vergütung über das EEG erfolgen, was jedoch zu Mitnahmeeffekten und letztlich zu einer steigenden EEG-Vergütung führen würde. Die Alternative wäre eine Investitionsförderung des Neubaus von Nahwärmenetzen. Besonders kleintechnische Anlagen > 50 kW_{el} würden davon profitieren. Ein zusätzliches THG-Minderungspotenzial könnte damit erschlossen werden.

Des Weiteren rückt mit Blick auf Entschärfung von Nutzungskonkurrenzen die Reststoffnutzung immer weiter in den Fokus der Öffentlichkeit. Die Biomassevergasung hat gezeigt, dass einfache holzartige Rohstoffe gut beherrschbar sind. Die regionale Reststoffnutzung wird derzeit aufgrund der Rohstoffpreisentwicklung von immer mehr Entwicklern und Herstellern als zukünftige Rohstoffquelle in Betracht gezogen. Dennoch gibt es eine Vielzahl technischer Probleme und gesetzlicher Unklarheiten, wie Reststoffe zur energetischen Nutzung rechtlich zu behandeln sind. Da die genehmigungsrechtlichen Fragen zu klären sind, muss eine Förderung über das EEG daher noch ausführlicher diskutiert werden. Dabei könnte der bereits erwähnte Leitfaden für Betreiber, Hersteller und Behörden bezüglich der Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen bzw. die VDI 3461 hilfreich sein, um Rechtssicherheit zu schaffen, sofern dieser vom Gesetzgeber anerkannt wird. Zudem ist die Ausweitung der Reststoffnutzung über eine direkte Forschungsförderung und nicht über eine EEG-Zusatzvergütung denkbar, um Mitnahmeeffekte beim Einsatz derartiger Rohstoffe zu vermeiden und die EEG-Vergütung nicht künstlich zu steigern. Generell sollten die vergleichsweise günstigen Rohstoffpreise von Reststoffen ausreichen, um den zusätzlichen technischen Aufwand auszugleichen, sobald eine ausgereifte Technologie marktreif ist.



Foto: DBFZ

Steigerung der Energieeffizienz biogener Reststoffe - Thermische Verwertung

Martin Meiller, Samir Binder, Andreas Hornung

Vorhaben: Steigerung der Energieeffizienz in der Verwertung biogener Reststoffe (Thermische Verwertung)

FKZ-Nr.: O3KB022 C

Laufzeit: 01.07.2009 – 30.06.2012

Zuwendungssumme: 72.076 €

Koordination:

Fraunhofer UMSICHT

An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg

www.umsicht.fraunhofer.de

Projektpartner:

TU Braunschweig – Leichtweiß-Institut Abteilung Abfall und Ressourcenwirtschaft
Bauhaus Universität Weimar – Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft

Kontakt:

M.Eng. Dipl. Wi.-Ing. (FH) Martin Meiller (Teilprojektleiter)

Telefon: +49 (0) 9661 908-416

E-Mail: martin.meiller@umsicht.fraunhofer.de

Martin Meiller (Teilprojektleiter):

Betreiber von Biomasseheizkraftwerken und -heizwerken sind mit dem Problem konfrontiert, dass sie einerseits ihre Einnahmen nur schwer steigern können, andererseits auf der Ausgabenseite mit erheblichen Schwankungen konfrontiert werden. Durch Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz, vor allem bei der Wärmenutzung, aber auch durch eine stärkere Nutzung von Alternativen zum Brennstoff Holz, können hier Wettbewerbsvorteile geschaffen werden.



Zusammenfassung

In Zeiten knapper werdender fossiler Brennstoffe und zunehmender Probleme durch den Klimawandel ist es wichtig, alternative Brennstoffe zu finden, um die Energieversorgung auch in Zukunft sicherzustellen. Neben der Verwendung von Holz oder anderen energiereichen Pflanzen steht vor allem die Verwertung von Reststoffen (Klärschlamm, Gülle, Grünschnitt, Stroh etc.) im Zentrum der Forschung. Bei biogenen Reststoffen besteht keine Nutzungskonkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln. Um die Energieeffizienz bei der thermischen Verwertung biogener Reststoffe im Bereich der thermischen Verwertung bewerten und optimieren zu können, wurden zum einen eine Betreiberbefragung und zum anderen Verbrennungsversuche durchgeführt.

Hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften weisen alternative Energieträger große Unterschiede auf. So variiert neben vielen anderen Merkmalen auch deren chemische Zusammensetzung. Dies wiederum hat besonders bei der thermischen Verwertung einen großen Einfluss auf das Verbrennungsverhalten. Daher sind neue verfahrenstechnische Ansätze bzw. Anpassungen und Optimierungen bewährter Systeme für den Einsatz biogener Brennstoffe unerlässlich. Durch Verbrennungsversuche wurden die bestehenden Herausforderungen konkretisiert. Um einen umfassenderen Einsatz biogener Reststoffe zu ermöglichen müssen effiziente und kostengünstige Methoden für deren Verwertung in Verbrennungsanlagen vorhanden sein. Mit Hilfe einer Befragung von Anlagenbetreibern wurde in einem ersten Schritt ermittelt, wie effizient bereits bestehende Anlagen betrieben werden. Weiterhin wurden Ansätze zu einer Verbesserung der Energieeffizienz von Verbrennungsanlagen diskutiert.

Hintergrund und Zielstellung

In Zeiten knapper werdender fossiler Brennstoffe und zunehmender Probleme durch den Klimawandel ist es von großer Bedeutung, alternative und vor allem regenerative Brennstoffe zu finden, um die Energieversorgung auch in Zukunft sicherzustellen. Das langfristige Ziel ist ein Ersatz der fossilen Energieträger durch regenerative Energiequellen, wie z. B. Sonnenenergie, Windkraft oder Energie aus Biomasse.

In Regionen mit eher mäßiger Sonneneinstrahlung, wie z. B. in Mittel- und Nordeuropa, werden große Hoffnungen auf Biomasse als Energieträger gesetzt. Biomasse wird auf viel-

fältige Art und Weise genutzt: Neben der direkten thermochemischen Umwandlung durch Verbrennungsprozesse, werden auch Vergärungsprozesse zur Herstellung von Biogas durchgeführt. Weiterhin kann durch das Auspressen ölhaltiger Pflanzen oder durch Pyrolyse Öl gewonnen werden (Kaltschmitt et al. 2009).

Vor allem die Verwertung von Reststoffen (Klärschlamm, Gülle, Grasschnitt, Stroh etc.) steht dabei im Zentrum der Forschung. Eine optimierte Kaskadennutzung durch eine energetische Verwertung dieser Stoffe scheint ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll.

Alternative Energieträger weisen hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften große Unterschiede auf. Die chemische Zusammensetzung hat besonders bei der Verbrennung einen großen Einfluss auf Verbrennungseigenschaften wie z. B. die Zusammensetzung des Abgases (Jenkins et al. 1998). Daher sind neue verfahrenstechnische Ansätze bzw. Anpassungen und Optimierungen bewährter Systeme für den Einsatz biogener Brennstoffe unerlässlich. Durch gezielte Verbrennungsversuche werden die bestehenden Herausforderungen konkretisiert.

Um einen umfassenderen Einsatz biogener Reststoffe zu ermöglichen, müssen effiziente und kostengünstige Methoden für deren Verwertung vorhanden sein. Mit Hilfe einer Befragung von Anlagenbetreibern wurde ermittelt, wie effizient bestehende Anlagen betrieben werden sowie Ansätze zu einer Verbesserung der Energieeffizienz diskutiert.

Methoden und Ergebnisse

Verbrennungsversuche

Um detaillierte Erkenntnisse zum Verbrennungsverhalten biogener Reststoffe zu gewinnen, wurden Versuche im Technikum von Fraunhofer UMSICHT Institutsteil Sulzbach-Rosenberg durchgeführt. Dabei wurde das Verbrennungsverhalten unterschiedlicher biogener Reststoffe charakterisiert, um Rückschlüsse auf interessante Einsatzstoffe zu ermöglichen bzw. technische Anforderungen für deren Erschließung zu skizzieren.

Es wurden orientierende Versuche mit Landschaftspflegeheu, Mühlenausputz sowie unterschiedlichen Strohsorten (Raps und Roggen) durchgeführt. Das Verbrennungstechnikum von Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg ist mit verschiedenen Feuerungen sowie entsprechender Messtechnik zur Ermittlung wichtiger Prozessparameter der Rauchgaszusammensetzung ausgestattet. Dafür wurden neben einer kontinuierlichen Messung der gasförmigen Emissionen von SO_2 , NO , NO_2 , HCl , CO , CO_2 , H_2O , und NH_3 mittels Infrarotspektroskopie bzw. von O_2 mit Hilfe einer Zirkonoxidsonde auch die staubförmigen Emissionen in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2066 gravimetrisch bestimmt. Weiterhin wurden Proben der Verbrennungsrückstände genommen und in Bezug auf Feststoffausbrand und Verschlackungsverhalten analysiert.

Aus den Ergebnissen der Versuche wurden Rückschlüsse auf die Anwendbarkeit der Einsatzstoffe in bestehenden Feuerungsanlagen gezogen und sinnvolle Maßnahmen vorgeschlagen, die eine thermische Verwertung unterschiedlicher biogener Reststoffe ermöglichen.

Im Rahmen der Versuche wurden zunächst die chemischen Zusammensetzungen und wichtige verbrennungstechnische Parameter der Brennstoffe analysiert. Für das Verbrennungsverhalten eines Stoffes sind vor allem Heizwert, Feuchte und Aschemenge wesentliche Parameter. Bei allen untersuchten Stoffen liegt der Heizwert zwischen 15-18 MJ/kg

und damit in einem für technische Verbrennungsprozesse geeigneten Bereich. Auch die gemessenen Werte für die Feuchte der Stoffe deuten auf eine grundsätzliche Eignung für die thermische Verwertung hin.

Eine Herausforderung für bestehende feuerungstechnische Anlagen stellt der hohe Ascheanteil dar, der bei allen vorliegenden Stoffen deutlich größer ist als bei Fichtenholz. Bei der Verbrennung von Weizenausputz ist er mehr als viermal so hoch. Bestehende Feuerungen stoßen bei diesen Mengen an ihre technischen Grenzen. Eine vollständige Verbrennung ist deutlich schwieriger zu bewerkstelligen, ferner sind erhöhte Staubemissionen zu erwarten. Es zeigte sich weiterhin, dass die untersuchten Stoffe im Vergleich zum Referenzbrennstoff Fichtenholz hohe Stickstoffkonzentrationen enthalten. Aufgrund dieser Tatsache sind bei den untersuchten Brennstoffen deutlich erhöhte Emissionen von Stickoxiden zu erwarten, was sich im Hinblick auf die Versuche auch bewahrheitet hat. In der Graphik sind die in der TA Luft für Holz bzw. für Stroh oder für ähnliche pflanzliche Stoffe festgesetzten Grenzwerte

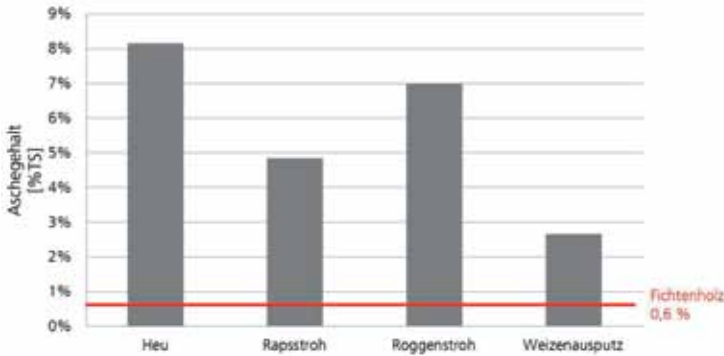


Abbildung 1: Aschegehalt der ausgewählten Versuchs Brennstoffe

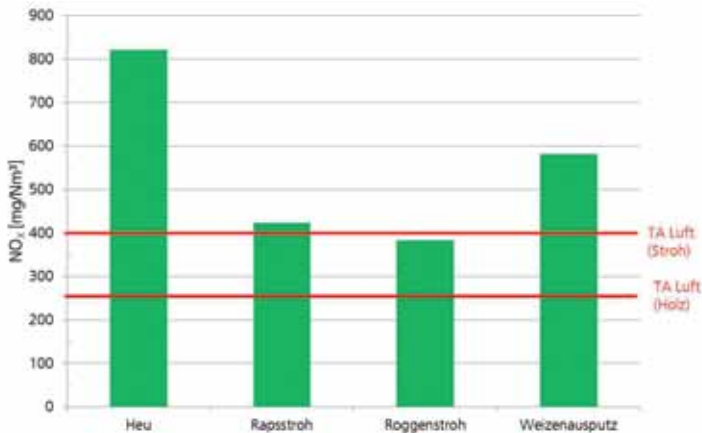


Abbildung 2: Stickoxidemissionen bei den durchgeführten Verbrennungsversuchen

gekennzeichnet. Auf Grundlage der Vorversuche war zu erwarten, dass für alle untersuchten Einsatzstoffe Maßnahmen zur Reduktion der Stickoxid-Emissionen erforderlich sind. Bei der Verbrennung von Stoffen mit großen Anteilen an Schwefel entstehen gesundheitsschädliche Schwefeloxide, die unter anderem die Schleimhäute reizen und zu saurem Regen beitragen. Weiterhin sind diese Gase verantwortlich für die Bildung von hochkorrosiver Schwefelsäure (Baumbach 1992).

Auch Chlor besitzt eine korrosive Wirkung, die vor allem durch die Bildung von HCl hervorgerufen wird. Es entstehen aber auch Chloride, die sich ebenso wie Sulfate z. B. an Wärmeübertragerflächen anlagern und Salzschmelzenkorrosion verursachen. Dementsprechend ist bei der thermischen Verwertung vieler biogener Reststoffe mit einer erhöhten Korrosionsproblematik zu rechnen. Folglich ist ein besonderes Augenmerk auf die Materialauswahl zu legen.

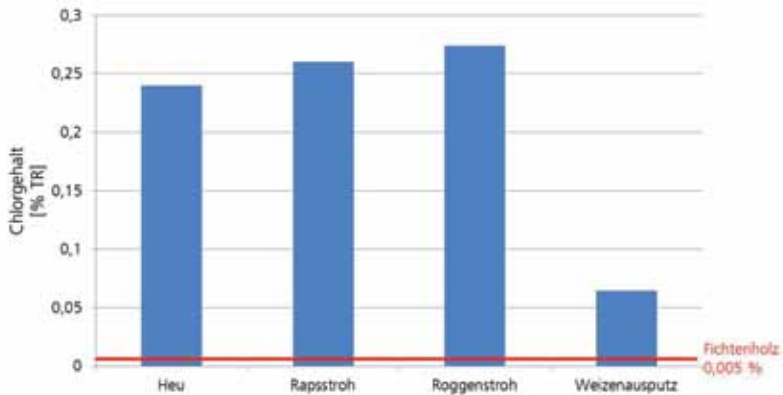


Abbildung 3: Chlorgehalt der ausgewählten Versuchs Brennstoffe

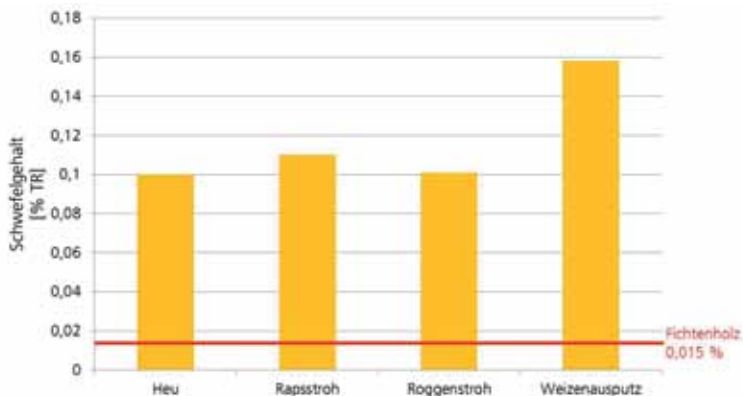


Abbildung 4: Schwefelgehalt der ausgewählten Versuchs Brennstoffe

Chlor spielt aber auch bei der Bildung von Dioxinen und Furanen eine entscheidende Rolle. Für die Startreaktion zur Bildung von PCDD/F ist die Gegenwart von Chlor nötig (Baumbach 1992).

Folglich sind Chlor- und Schwefelgehalt im Brennstoff wichtige Kenngrößen für Korrosion und die Entstehung von Schadgasen. Auch hier ist erkennbar, dass die untersuchten biogenen Reststoffe deutlich mehr Chlor bzw. Schwefel enthalten als der Referenzbrennstoff Fichtenholz.

Bei den Versuchen wurde außerdem die Staubkonzentration im Abgas nach der VDI Richtlinie 2066 untersucht. Auch hier deuten sich, gemessen an den Vorgaben der TA Luft für Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe (für Anlagen mit einer Leistung von mehr als 1 MW), erhebliche Herausforderungen an.

Von großer Bedeutung für die thermische Verwertung biogener Reststoffe ist die Vollständigkeit des Ausbrandes der eingesetzten Stoffe. Diese ist von vielen Faktoren abhängig und kann in hohem Maße durch eine Optimierung der Feuerungstechnik beeinflusst werden. Aus den orientierenden Versuchen kann abgeleitet werden, inwieweit einzelne Reststoffe mit bestehender Technik genutzt werden können und somit Rückschlüsse gezogen werden, wie viel Aufwand für eine Adaption der Feuerungstechnik betrieben werden muss. Bei Brennstoffen mit niedrigen Ascheschmelzpunkten können durch Konglomerate technische Probleme auftreten, aber auch die Effizienz leidet auf Grund des schlechten Feststoffausbrandes. Um diesbezüglich Anhaltspunkte zu bekommen, wurde der Glühverlust der Asche sowie die CO-Konzentration im Rauchgas bestimmt.

Die orientierenden Versuche wurden an einer Feuerung mit 100 kW Feuerungswärmeleistung durchgeführt, weshalb eine Übertragung der Ergebnisse auf großtechnische Anwendungen nicht eins zu eins möglich ist. Dennoch ergeben sich aus den Versuchen auf Grund der Ähnlichkeit der verfahrenstechnischen Abläufe Anhaltspunkte, die zumindest in ihrer Tendenz auch für andere Anwendungen Gültigkeit besitzen. Von daher kann gefolgert werden, dass die untersuchten biogenen Reststoffe thermisch verwertet werden können. Technische Adaptionen und Anpassungen sind jedoch in vielen Fällen in den Bereichen Feuerungstechnik, Rauchgasreinigung und Brennstoffaufbereitung erforderlich.

Betreiberbefragung

Um Daten unmittelbar aus der betrieblichen Praxis zu gewinnen, wurde eine Betreiberbefragung durchgeführt. Für die Gestaltung des Fragebogens wurden für Anlagen zur thermischen Verwertung biogener Reststoffe verschiedene Funktionsebenen aufgestellt. Der Fragebogen wurde entsprechend dieser Funktionsebenen gegliedert. Aus den jeweiligen Funktionsebenen sollten Daten bezüglich der eingesetzten Anlagentechnik, des Energiebedarfs sowie der auftretenden Stoffströme gesammelt werden. Auf diese Weise wurden aus den jeweiligen Bereichen die Verbräuche der wichtigsten Aggregate quantifiziert.

Für die Befragung wurden Anlagen in einem großen Leistungsspektrum zur Erzeugung von Wärme, Prozessdampf und Strom berücksichtigt. Es wurden insgesamt 121 Anlagenbetreiber kontaktiert, 28 Fragebögen kamen beantwortet zurück, was einem Rücklauf von 23,1 % entspricht. Auswertbare Daten lagen von insgesamt zehn Heizwerken und fünfzehn Heizkraftwerken vor, worunter sich wiederum acht Anlagen mit Organic Rankine-Cycle (ORC) und sieben Anlagen mit Dampfturbinenprozess (CRC) befinden. Die durchschnittlich installierte Feuerungswärmeleistung aller Anlagen beträgt 16,6 MW und schwankt zwischen 0,3

MW und 64 MW. Die Heizkraftwerke weisen eine durchschnittlich installierte elektrische Leistung von 7,61 MW_{el} auf, wobei die kleinste Anlage eine Leistung von 0,36 MW_{el} und die größte eine Leistung von 23,5 MW_{el} erreicht.

Vom Holzschlag bis zur Anlage müssen teilweise erhebliche Distanzen überwunden werden, was große Transportentfernungen und somit einen hohen Energiebedarf für den Transport bedingt. Aufgrund dessen wurden von den Betreibern unter anderem die durchschnittlichen Transportentfernungen abgefragt. Dabei wird deutlich, dass Anlagen mit größeren Leistungen erheblich größere Einzugsgebiete benötigen, um die erforderlichen Einsatzstoffmengen zu beschaffen. Dies wiederum schlägt sich in hohen Transportkosten nieder, die ihrerseits die Brennstoffkosten beeinflussen.

In der nachfolgenden Grafik kann man erkennen, dass die durchschnittliche Transportentfernung bei Heizwerken (HW) zwischen wenigen Kilometern und ca. 30 Kilometern schwankt. Einzelne Heizkraftwerke werden aus durchschnittlich 150 Kilometern beliefert. Ausgehend von typischen Losgrößen im Transport ist unter diesen Voraussetzungen von einem Kraftstoffeinsatz zwischen ca. 0,15 und 1,88 Litern pro Tonne Brennstoff auszugehen. In der Umfrage wurden die Betreiber außerdem nach ihrer subjektiven Einschätzung zu Brennstoffverfügbarkeit und -qualität befragt. Die Bewertungsskala ging dabei von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht). Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

Die Brennstoffqualität wurde von Betreibern von Heizwerken (Ø 1,86) deutlich besser eingeschätzt als von Heizkraftwerken (Ø 2,92). Kein Anlagenbetreiber stufte die Brennstoffqualität als sehr schlecht ein. Betreiber von Heizwerken bewerteten die Qualität des Brennstoffs stets mit befriedigend oder besser. Dahingegen fällt auf, dass die Brennstoffqualität von keinem Heizkraftwerksbetreiber für sehr gut befunden wurde.

Heizwerke bewerteten die Brennstoffverfügbarkeit im Durchschnitt (Ø 1,43) deutlich besser als Heizkraftwerke (Ø 2,46), wobei kein Heizwerk die Verfügbarkeit als schlecht oder sehr schlecht einstufte. Die Brennstoffverfügbarkeit wurde von keinem Anlagenbetreiber, weder von Heizwerken noch von Heizkraftwerken, als sehr schlecht bewertet.

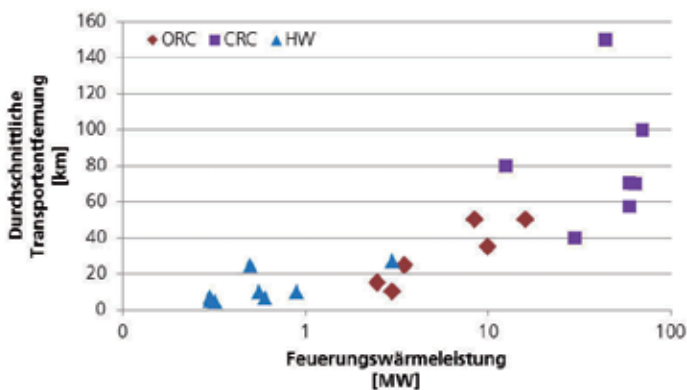


Abbildung 5: Durchschnittliche Transportentfernung bezogen auf die Leistung der Feuerung

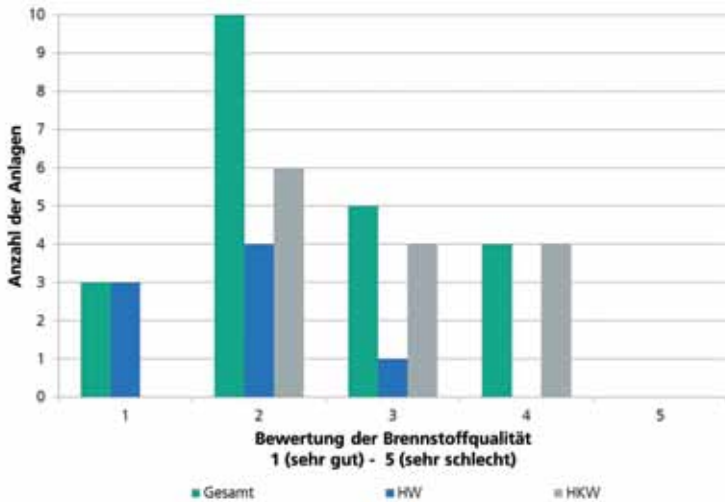


Abbildung 6: Bewertung der Brennstoffqualität

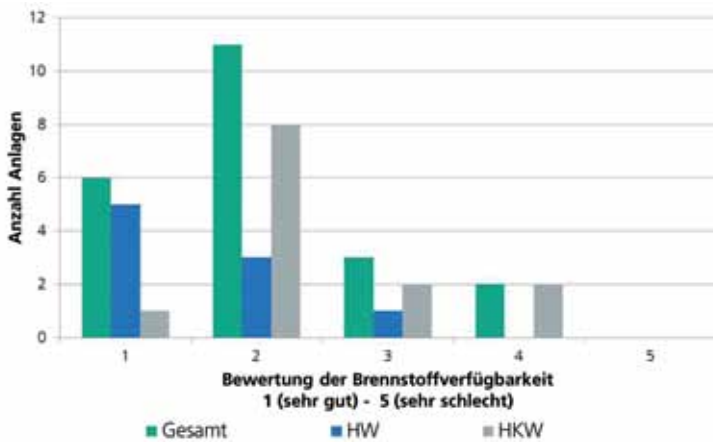


Abbildung 7: Bewertung der Brennstoffverfügbarkeit

Insgesamt gesehen, wurden Verfügbarkeit und Qualität von Brennstoffen noch als gut bewertet. Auffällig sind insbesondere die eindeutig besseren Bewertungen von Heizwerk-Betreibern im Vergleich zu Heizkraftwerken.

Fast alle Anlagenbetreiber gaben an, dass in den vergangenen Jahren die Verfügbarkeit geringer und die Qualität der Brennstoffe schlechter geworden ist. Dies verdeutlicht, dass die intensivierte Nutzung von Holzhackschnitzeln aufgrund lokaler und regionaler Verknappung nicht nur zu einer Verteuerung des Brennstoffs, sondern auch zu einer erschwerten Beschaffung bei gleichzeitig nachlassenden Qualitäten geführt hat.



In Bezug auf die aufgeführten Brennstoffe fällt die extreme Beschränkung auf den Einsatzstoff Holz auf, der in Form von Waldrestholz, Landschaftspflegematerial oder Altholz verwendet wird. Lediglich in drei Anlagen werden Siebreste aus Kompostierwerken eingesetzt, nur zwei Anlagen nutzen Rinde als Brennstoff. Andere Holzersatzbrennstoffe, also biogene Reststoffe unterschiedlicher Herkunft, finden derzeit keine Verwendung.

Für die Bewertung der Effizienz der Gesamtanlage wurden die Jahresnutzungsgrade bestimmt, indem, bezogen auf ein Jahr, das Verhältnis aus erzeugter Energie (Strom, Dampf, Wärme) und eingebrachter Energie (Brennstoff, Hilfsenergie) gebildet wird.

Abbildung 8 zeigt die Jahresnutzungsgrade von ORC- und CRC-Anlagen in Bezug auf die erzeugte elektrische Energie. Dabei werden die unterschiedlichen Wirkungsgrade von ORC- und CRC-Prozess deutlich. Weiterhin zeigt sich in den Abbildungen 9 und 10, dass bei den meisten BMHKW-Anlagen mit Dampfturbine die Wärmenutzung eher eine untergeordnete Rolle spielt. Einige Anlagen sind sogar ausschließlich auf die Erzeugung von Strom ausgelegt und weisen kein Wärmenutzungskonzept auf. Hinsichtlich des gesamten Jahresnutzungsgrads führt dies dazu, dass CRC-Anlagen vergleichsweise schlecht abschneiden. Aufgrund der unterschiedlichen Exergiegehalte führt die ungewichtete Addition der erzeugten Energiemengen, sei es thermischer oder elektrischer Energie, zu einer Unterbewertung der produzierten elektrischen Energie. Eine exergetische Betrachtung könnte hier Abhilfe schaffen, wurde jedoch auf Grund zeitlicher und finanzieller Beschränkungen nicht durchgeführt.

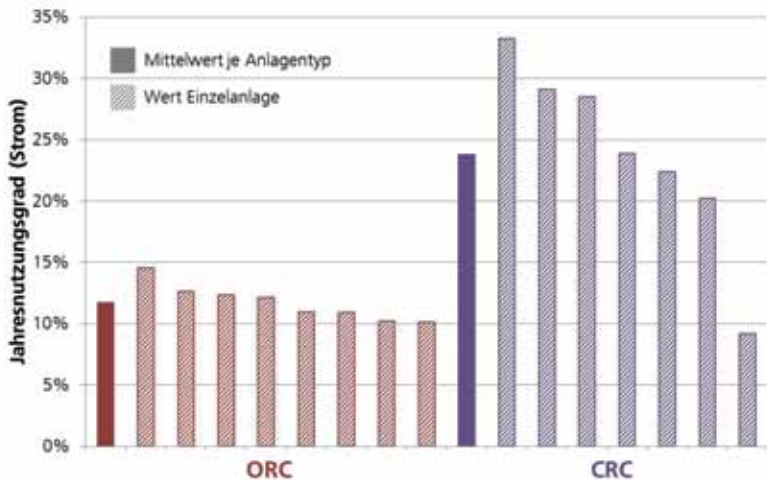


Abbildung 8: Jahresnutzungsgrad der Anlagen bezogen auf die erzeugte elektrische Energie

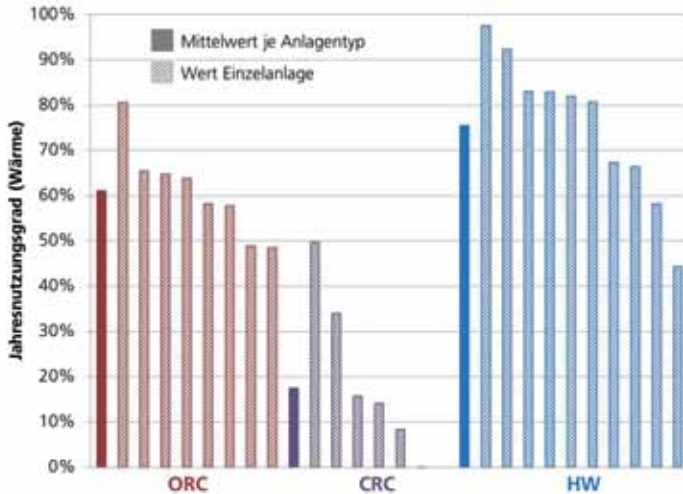


Abbildung 9: Jahresnutzungsgrad der Anlagen bezogen auf die genutzte Wärmeenergie

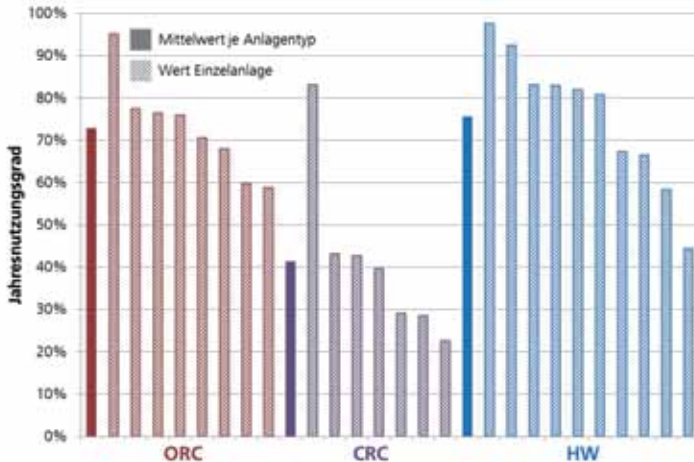


Abbildung 10: Jahresnutzungsgrad (gesamt) der untersuchten Anlagen

Die Befragung zeigt deutlich, dass bei der thermischen Verwertung biogener Reststoffe erhebliche Potenziale bestehen. Vor allem bei Biomasseheizkraftwerken muss die Nutzung der entstehenden Wärme optimiert werden. Auch die Nutzung alternativer Einsatzstoffe erfolgt bislang nur in einem vernachlässigbarem Umfang. In Hinblick auf die zur Verfügung stehende Datenqualität zeigt die Befragung deutlich, dass nur sehr wenige Betreiber Daten in ausreichender Detailschärfe erfassen. Nur ein kleiner Teil der Anlagenbetreiber hat

einen Überblick über Energieverbräuche in einzelnen Bereichen der Anlage, dementsprechend finden grundlegende Überprüfungen der Effizienz kaum statt. Durch die Entwicklung und Erarbeitung entsprechender Instrumente, wie z. B. Leitfäden oder Checklisten, können Entscheidungsträger stärker dazu motiviert werden, die Herausforderung Energieeffizienz im Biomasseheizkraftwerk offensiv anzugehen. Ein gemeinschaftlich von Betreibern und Planern entwickelter Leitfaden kann dabei unterstützen, bereits im Vorfeld mögliche Schwachstellen aufzudecken, zu quantifizieren und Potenziale zu heben. Dafür müssten jedoch zunächst detaillierte Informationen durch ergänzende Untersuchungen und Messungen gewonnen werden.

Von herausragender Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die effiziente Nutzung der anfallenden Wärme. Probleme ergeben sich hierbei häufig aufgrund zeitlich stark schwankender Lastprofile. Neben der Integration verschiedener Trocknungsverfahren zur Erhöhung der Wärmeausnutzung, können Speicher unterschiedlicher Bauart und Größe Schwankungen in den Lastgängen kompensieren. Weiterhin können durch den Einsatz mobiler Speicher Wärmeabnehmer versorgt werden, für die ein Anschluss an ein Fernwärmenetz nicht wirtschaftlich darstellbar ist.



Abbildung 11: Mobiler Latentwärmespeicher in der Erprobungsphase

Um die Abhängigkeit vom Einsatzstoff Holz zu reduzieren und den Betreibern zukünftig größere Freiheiten bei der Brennstoffbeschaffung zu ermöglichen, muss verstärkt über den Einsatz von Holzersatzbrennstoffen nachgedacht werden. Da aber viele biogene Reststoffe hinsichtlich ihrer verbrennungstechnischen Eigenschaften Unterschiede zum Brennstoff Holz aufweisen, sind verfahrenstechnische Anpassungen zu prüfen.

Übertragbarkeit und Nachhaltigkeit

In Übereinstimmung mit Ziel und Gegenstand der BMU-Klimaschutzinitiative und dem Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ leistet dieses Forschungsprojekt einen Beitrag zum Themenschwerpunkt „Steigerung der Energieeffizienz bei der Verwertung biogener Reststoffe“.

Bisher werden nur bestimmte biogene Reststoffe einer thermischen Verwertung zugeführt. Bei vielen Stoffen mangelt es an Erkenntnissen aus praxisnahen Tests. Die durchgeführten Versuche verbessern die Datenbasis in diesem Bereich und geben Betreibern und Planern Hinweise für eine sinnvolle Nutzung und einen adäquaten Einsatz biogener Reststoffe. Das Projekt fördert auf diese Weise die verstärkte Verwendung dieser Stoffe, wodurch erhebliche Einsparungen an CO₂-Emissionen erreicht werden können.

Weiterhin fehlt es an definierten Informationen zur Effizienz bestehender Biomasseheiz(kraft)werke. Stärken und Schwächen aktueller technischer Lösungsansätze können im Hinblick

auf die Energieeffizienz nur in der Gesamtsicht bewertet werden, somit sind Potenziale nur schwer zu heben. Die gewonnenen Informationen und Daten sollen Anlagenbetreiber und Planer dabei unterstützen, Anlagen verstärkt hinsichtlich Energie-Effizienz zu optimieren. Fortschritte in diesem Bereich führen zu Einsparungen, die dazu beitragen, den Bestand von Biomasseanlagen langfristig zu sichern.

Durch eine Erweiterung der Brennstoffpalette können Brennstoff- und Transportkosten eingespart und die Flexibilität im Einkauf verbessert werden.

Besonders wichtig ist eine sinnvolle und möglichst vollständige Nutzung der anfallenden Wärmeenergie. Gerade in diesem Bereich können Fortschritte mit Hilfe innovativer Technologien und neuer Konzepte, wie durch den Einsatz von Energiespeichern, erreicht werden.

Literaturverzeichnis

Baumbach G.: Luftreinhaltung. 2.Auflage Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 1992, S. 28.-31, S. 150-151.

Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Auflage Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer Verlag, 2009, S. 4.

Jenkins B. M.; Baxter, L.L.; Miles Jr., T. R.; Miles, T. R.: Combustion properties of biomass. In: Fuel Processing Technology, 1998, S. 17-46.



Foto: Diana Pfeiffer, DBFZ

Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei Pellet-Kleinf Feuerungsanlagen

Robert Kunde¹, Mamun Adeili, Florian Volz

Vorhaben:

Systemoptimierung von Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlagen durch hydraulisch-regelungs-technische Konzeptverbesserung (Systemoptimierung Pellet-KFA)

FKZ-Nr.: 03KB026

Laufzeit: 01.09.2009 – 30.11.2012

Zuwendungssumme: 315.538 €

Koordination:

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)

Walther-Meißner-Str. 6

85748 Garching

www.zae-bayern.de

Kontakt:

Dipl.-Ing. Robert Kunde (Projektleiter)

Telefon: +49 (0) 89 329442-27

E-Mail: kunde@muc.zae-bayern.de

¹ Autor

Robert Kunde (Projektleiter):

1. Das energetische Optimierungspotential von Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen liegt im Mittel bei ca. 10 %!
2. Überdimensionierung reduziert den Jahresnutzungsgrad von Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen!
3. Emissionen aus Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen können durch Betrieb in Kombination mit einem Pufferspeicher drastisch reduziert werden!



Zusammenfassung

In dem Forschungsvorhaben wurden systematische Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Parameter auf den Jahresnutzungsgrad und das Emissionsverhalten von Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen (KFA) am Laborprüfstand unter realen Betriebsbedingungen untersucht. Überwiegend aufgrund falscher Kesseldimensionierung liegt der Jahresnutzungsgrad typischer Holzpellet-KFA für Einfamilienhäuser zum Teil deutlich niedriger als bei vergleichbaren Öl- und Gasfeuerungsanlagen. Je besser der Heizkessel an den tatsächlichen Wärmebedarf angepasst ist, umso höher ist der Nutzungsgrad: bei Volllast liegt er bei Holzpellet- KFA um ca. 87 %, im Sommer sinkt er je nach Kesselbauart auf ca. 52 % bis 65 %. Die thermischen Verluste handelsüblicher Pufferspeicher sind derzeit noch zu hoch, so dass der Jahresnutzungsgrad trotz Vermeidung des ineffizienten Betriebs der Holzpellet-KFA im Sommer durch die Verwendung einer thermischen Solaranlage energetisch nicht kompensiert werden kann. Allerdings können die Emissionen durch Volllastbetrieb der Holzpellet-KFA in Kombination mit einem Pufferspeicher drastisch reduziert werden. Im Bestand könnte der Jahresnutzungsgrad durch eine softwareseitige Anpassung der Kesselleistung an den tatsächlichen Bedarf mit wenigen Handgriffen um bis zu 10 % erhöht und Heizkosten und CO₂-Emissionen durch die damit verbundene Brennstoffeinsparung entsprechend reduziert werden.

Hintergrund und Zielstellung

Durch die energetische Nutzung von Biomasse kann der Einsatz fossiler Energieträger und dadurch der Ausstoß von fossilem CO₂ signifikant reduziert werden. Feste Biomasse wird dabei vor allem in Form von Holz thermisch genutzt und in Heizwerken oder kleineren Feuerstätten eingesetzt. Heizungsanlagen für Holzpellets spielen heute bei der regenerativen Gebäudebeheizung eine wichtige Rolle. Biomasse-Kleinfeuerungsanlagen können aber nennenswert zur Feinstaubbelastung beitragen. In Ballungsräumen und ländlichen Siedlungen beträgt die Immissionszusatzbelastung aufgrund von Biomasseverbrennung in Kleinanlagen bis zu 15 % des Immissionsgrenzwertes (Kunde et al. 2007), (Schnelle-Kreis 2008). Dies gilt besonders für Einzelraumfeuerungsanlagen aber auch für „moderne“ Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen. Weitere Untersuchungen zeigen, dass die Effizienz (Jahresnutzungsgrad) „moderner“ Pelletheizkessel im Mittel nur etwa 73 % beträgt und zum Teil unerwartet viel Hilfsenergie benötigt wird (Kunde et al. 2009), (Schraube et al. 2011).

Wesentliche Ziele des Vorhabens sind systematische Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Parameter auf den Jahresnutzungsgrad und das Emissionsverhalten. Dabei wird im Gegensatz zu den bisher durchgeführten Felduntersuchungen nicht der Heizkessel alleine sondern im Kontext des gesamten Heizungssystems (Systemgrenze Heizraum) untersucht. Um die Bandbreite des Einflusses abschätzen zu können, werden anhand praxisorientierter Lastgänge zwei typische hydraulische Schaltungsvarianten (mit und ohne Pufferspeicher) an zwei unterschiedlichen realen Holzpellet-KFA (Unterschubfeuerung und Fallschachtfuerung) inklusive der Kesselregelung untersucht und beurteilt. Aus den Ergebnissen lassen sich Verbesserungsvorschläge für die Praxis ableiten, durch deren Umsetzung ein Beitrag zu den Klimaschutzpolitischen Zielen geleistet werden kann.

Vorgehensweise

Die Untersuchungen zum Jahresnutzungsgrad und den Jahresemissionen wurden an einem Laborprüfstand mit Messmöglichkeiten für gas- und partikelförmige Emissionen inklusiv Hydraulik (Pufferspeicher, regelbare Wärmesenke zur Heizkreissimulation) durchgeführt. An dem Laborprüfstand kann der reale Wärmebedarf, der sich aus Lastgängen ergibt, dynamisch nachgefragt werden. Dies ermöglicht die Untersuchung von Heizkesseln unter realer Betriebsweise.

Unter Berücksichtigung bereits vorhandener Daten aus Felduntersuchungen wurden mit einer dynamischen Gebäude-Simulation (TRNSYS) Lastgang und Jahresheizwärmebedarf eines üblichen Bestands-Einfamilienhauses ermittelt, für das nach DIN EN 12831 zur Deckung dieses Wärmebedarfs ein 15-kW-Kessel ausreichend wäre. Zugrunde liegt ein von drei Personen bewohntes Bestands-Einfamilienhaus in Deutschland mit 130 m² Wohnfläche, einem Heizwärmebedarf von 28.200 kWh/a und 3.150 kWh/a Energiebedarf für Warmwasser inklusiv typischer Zirkulationsverluste. Dies entspricht einem für den Gebäudebestand (ohne Wärmedämmung) durchschnittlichen spezifischen Gesamtwärmebedarf von etwa 240 kWh/m²a.

Mit der Simulation wurde der Jahresheizwärmebedarf in 15-Minuten-Zeitschritten anhand einer mittleren Meteororm Testreferenzmeteorologie für Deutschland für dieses Bestands-Einfamilienhaus berechnet. Durch Addition des Wärmebedarfs für die Trinkwarmwasserbereitung (1 x tägliches Aufheizen eines 300 Liter Trinkwarmwasserspeichers inklusiv typischer Verteilverluste) ergibt sich der Jahresgesamtwärmebedarf in 15-Minuten-Zeitschritten. Das zugrundeliegende meteorologische Testreferenzjahr wurde nach der Richtlinie VDI 4655 in charakteristische Typtage eingeteilt und der Jahreslastgang dadurch in charakteristische Typtag-Lastgänge überführt. Insgesamt werden vier charakteristische Typtage mit entsprechenden Typtag-Lastgängen unterschieden, die in Abbildung 1 dargestellt sind.

Die Energieflüsse und Emissionen werden kontinuierlich während des gesamten Tageszyklus gemessen. Die Brennstoffenergie wird aus Brennstoffmasse und Heizwert H_i berechnet. Bei einem Messzyklus wird für jeden der vier Typtage ein Typtagnutzungsgrad ermittelt. Die Hochrechnung auf den Jahresnutzungsgrad erfolgt nach Formel (1), in der eine Gewichtung über den Wärmebedarf des jeweiligen Typtags und die Häufigkeit des Typtags im Referenzjahr berücksichtigt ist.

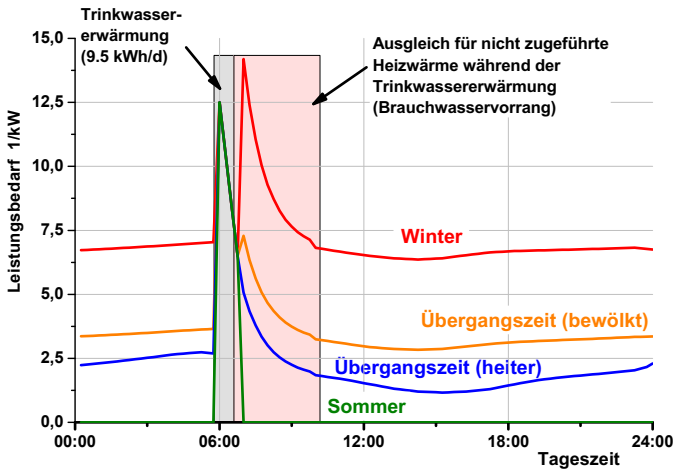


Abbildung 1: Verwendete Typtags-Lastprofile, Quelle: Eigene Berechnungen

$$\eta_a = \frac{1}{\sum_{i=1}^4 Q_{\text{Bedarf},i} \cdot n_i} \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{Q_{\text{Nutz},i}}{Q_{\text{Brennstoff},i} + Q_{\text{Hilfsenergie},i}} \cdot Q_{\text{Bedarf},i} \cdot n_i \quad (1)$$

η_a	Jahresnutzungsgrad
i	Typtag (Winter, Übergang bewölkt, Übergang heiter, Sommer)
$Q_{\text{Bedarf},i}$	Wärmebedarf am Typtag i
$Q_{\text{Nutz},i}$	Nutzwärmemenge am Typtag i
$Q_{\text{Brennstoff},i}$	umgesetzte Brennstoffenergie am Typtag i
$Q_{\text{Hilfsenergie},i}$	aufgewendete el. Hilfsenergie am Typtag i
n_i	Häufigkeit des jeweiligen Typtags im Jahr

Ergebnisse

Untersucht wurden zwei verschiedene Holzpellet-KFA jeweils mit und ohne Pufferspeicher: ein vergleichsweise kleiner und leichter Pelletheizkessel (niedrigere Wärmekapazität) mit Abwurffeuern und ein vergleichsweise schwerer Pelletheizkessel (höhere Wärmekapazität) mit Unterschubfeuerung. Zusätzlich wurden auch Versuche zur Beurteilung des Einflusses der Kesselauslegung (Dimensionierung) auf den Jahresnutzungsgrad durchgeführt. In Abbildung 2 ist die Abhängigkeit des Jahresnutzungsgrades von der relativen Kesselauslastung an den unterschiedlichen Typtagen sowie bei Nennleistung dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass Holzpellet-KFA Nutzungsgrade zwischen 85 % und 90 % erreichen. Bei sehr niedriger Auslastung sinkt der Nutzungsgrad aufgrund der Aufheiz- und Abkühlverluste deutlich. Dies wirkt sich beispielsweise im Sommer deutlich aus, da hier der Trinkwarmwasserspeicher lediglich einmal täglich aufgeheizt wird. Hier weist ein leichterer Heizkessel mit vergleichsweise niedrigerer Wärmekapazität Vorteile gegenüber einem schwereren Kessel mit höherer Wärmekapazität auf.

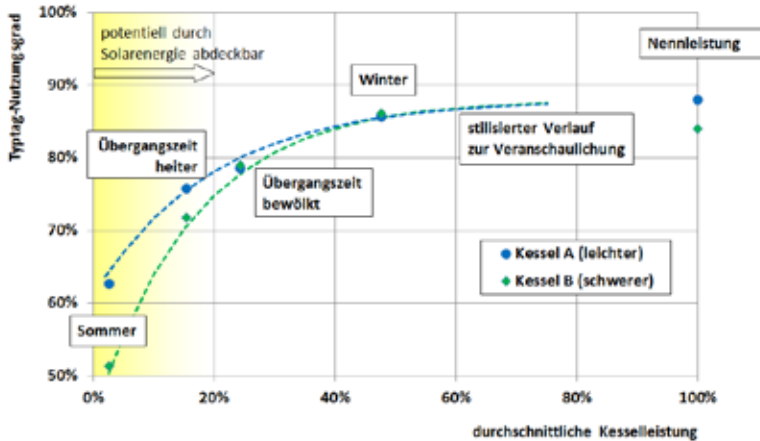


Abbildung 2: Abhängigkeit des Jahresnutzungsgrades von der relativen Kesselauslastung für leichte und schwere Kessel; Quelle: eigene Messungen

Der signifikante Einfluss der Kesseldimensionierung, also der Anpassung der Kesselleistung an den tatsächlich zu deckenden Wärmebedarf, auf den Jahresnutzungsgrad ist in Abbildung 3 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass für das zugrunde liegende Gebäude etwa 60 % des Wärmebedarfs im Winter und weitere 21 % des Wärmebedarfs in der bewölkten Übergangszeit anfallen. Daher wirken sich die niedrigeren Nutzungsgrade an den Typtagen „Übergang heiter“ und „Sommer“, an denen insgesamt nur etwa ein Viertel des Jahresgesamtwärmebedarfs benötigt wird, energetisch relativ gering aus. Es zeigt sich, dass bei normgerechter Kesselauslegung Jahresnutzungsgrade um etwa 80 % bis 85 %

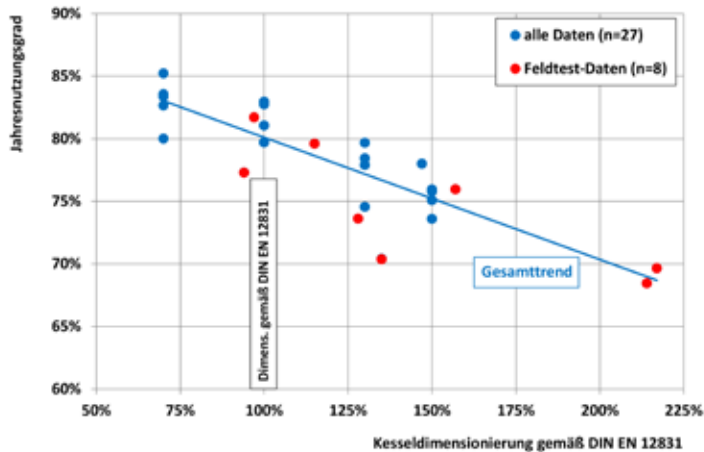


Abbildung 3: Abhängigkeit des Jahresnutzungsgrades von der Kesseldimensionierung, Einfluss eines Pufferspeichers, Quelle: Eigene Messungen

erreicht werden. Ist der Heizkessel jedoch um 50 % zu groß ausgelegt, dann verringert sich der Jahresnutzungsgrad um 5 %, bei 100 % Überdimensionierung sogar um 10 %. Diese Ergebnisse zeigen, dass eine deutliche Überdimensionierung von Holzpelletheizkesseln zu einer Reduzierung des Jahresnutzungsgrades führt. Insofern muss von der gängigen Praxis, „aus Sicherheitsgründen lieber einen größeren Kessel einzubauen“, dringend abgeraten werden. Es kommt hinzu, dass überdimensionierte Pelletheizkessel in der Regel sehr häufig in emissionsintensiven Schwachlastbetriebszuständen laufen und die erhöhten Emissionen, die meist mit erheblichen Rußablagerungen verbunden sind, einen erhöhten Wartungsaufwand bedeuten.

Die nachfolgenden Abbildungen veranschaulichen den deutlichen Unterschied im Emissionsverhalten zwischen Heizkesseln mit und ohne Pufferspeicher. Besonderes Augenmerk soll hier auf die Kohlenmonoxid-Emissionen (rot) gelegt werden, die einen Eindruck davon vermitteln sollen, wie vollständig bzw. unvollständig der Verbrennungsprozess abläuft. Es ist nachvollziehbar, dass im modulierenden Betrieb bei der Anlage ohne Pufferspeicher (Abbildung 4) deutlich mehr Ruß entsteht als bei der Anlage mit Pufferspeicher, die an einem bewölkten Übergangstag „nur“ viermal etwa zwei Stunden in Betrieb ist (Abbildung 5). Bei allen Versuchen wurden die gasförmigen Emissionen, insbesondere Kohlenmonoxid, sowie die Staubemissionen gemessen. Für die Staubmessungen wurde die Messmethode nach der Richtlinie VDI 2066-1 so modifiziert (Thrän/Lenz/Pfeiffer, 2012), dass eine 24-stündige Staubbilanzierung durchgeführt werden konnte. Durch die Bestimmung der mittleren Staubemission jedes Typtags kann auf die Jahresgesamtemission geschlossen werden.

Die Ergebnisse der gravimetrischen Staubmessungen zeigen, dass die aus einer Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlage emittierte Jahres-Gesamtstaubfracht bei nahezu stationärem Vollastbetrieb, wie dies bei Pufferbetrieb üblich ist gegenüber modulierender Betriebsweise,

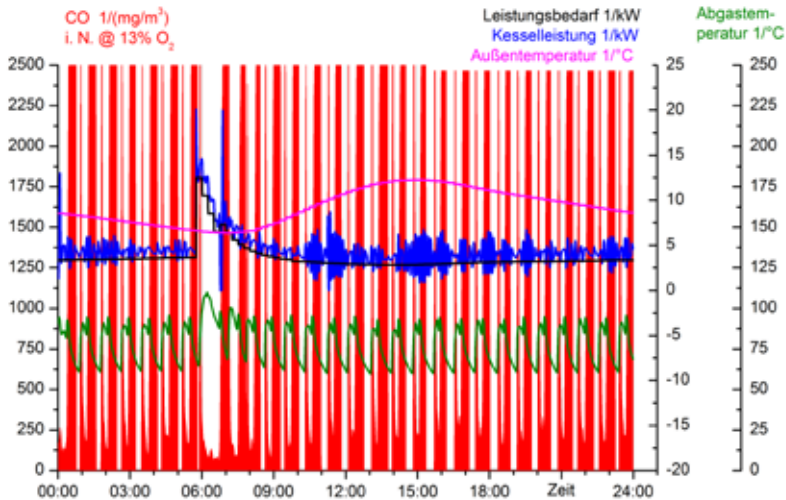


Abbildung 4: Emissions- und Lastverlauf eines Pelletheizkessels ohne Pufferspeicher am Typtag „Übergang bewölkt“, Quelle: Eigene Messungen

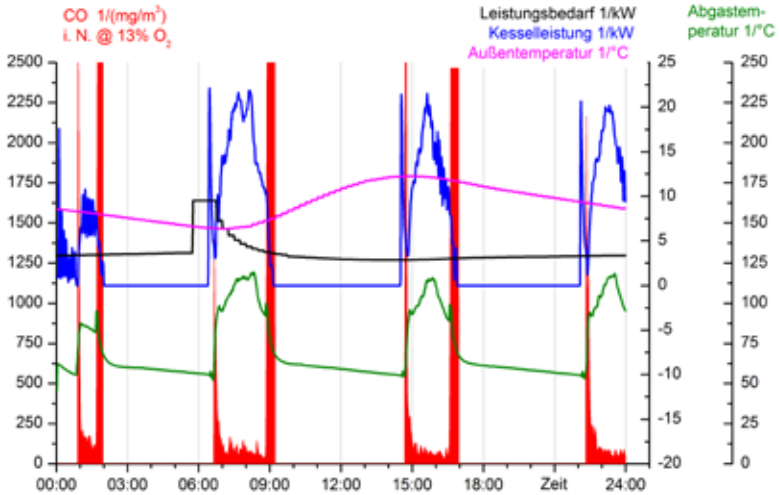


Abbildung 5: Emissions- und Lastverlauf eines Pelletheizkessels mit Pufferspeicher am Tytagt „Übergang bewölkt“, Quelle: Eigene Messungen

etwa halbiert werden kann. Bei bestimmungsgemäßem Betrieb ist es möglich, an modernen Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlagen heute Staubemissionskonzentrationen im Bereich der zukünftigen Grenzwerte nach der 1. BImSchV zu erreichen. Wie die Untersuchungen aber zeigen (Abbildung 6), finden insbesondere bei Anlagen ohne Pufferspeicher Volllastbetriebszustände praktisch kaum statt (siehe Abbildung 4), in denen Holzpellet-KFA

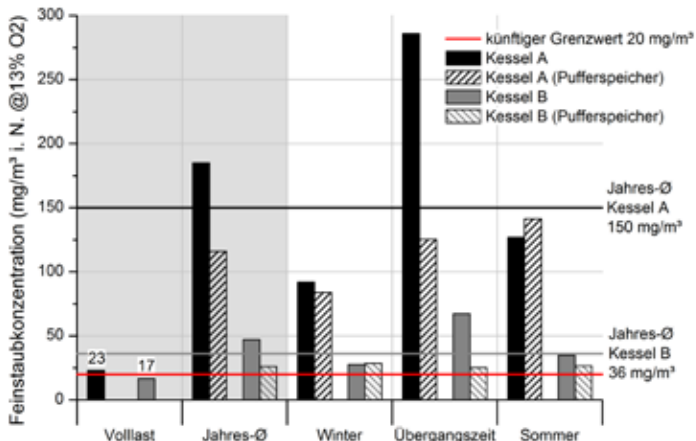


Abbildung 6: Ergebnisse der Staubemissionsmessungen (particulate matter PM) für die unterschiedlichen Typtage, die Jahresbilanz und Volllastbetrieb, Quelle: Eigene Messungen

typischerweise niedrigere Emissionen als bei Schwachlastbetrieb aufweisen. Daher können die tatsächlichen Jahres-Gesamtstaubfrachten auch nicht aus den Ergebnissen von Prüfstandmessungen bei Volllastbetrieb abgeleitet werden. Je nach Kesselbetriebsweise, die maßgeblich durch die Regelungsstrategie bestimmt wird, liegen die tatsächlichen jahresdurchschnittlichen Gesamtstaub-Emissionskonzentrationen um das 1,5- bis 7,5-fache über dem derzeit angestrebten zukünftigen Grenzwert.

Beitrag zu den Nachhaltigkeitsaspekten

Die Forschungsergebnisse liefern wesentliche Erkenntnisse, die notwendig sind, um den Beitrag optimierter mit Biomasse beheizter Heizungsanlagen im Gebäudebestand zu den Klimaschutzpolitischen Zielen des Förderprogramms „Optimierung der energetischen Biomassenutzung“ abzuschätzen. Grundsätzlich ist an dieser Stelle anzumerken, dass es ein wesentliches Ziel des Forschungsprojektes war, den Einfluss verschiedener Parameter auf die Energieeffizienz von Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlagen zu untersuchen. Der Beitrag zu den Nachhaltigkeitsaspekten ergibt sich aus dem Mechanismus der Einsparung wertvollen Biobrennstoffs durch Erhöhung der Energieeffizienz. Der Biobrennstoff kann somit zur Substitution von fossilen Brennstoffen nutzbar gemacht werden.

Aus dem ermittelten Einsparpotential kann abgeleitet werden, ob die erforderlichen Optimierungsmaßnahmen wirtschaftlich rentabel sind. Nur dann werden entsprechende Optimierungen umgesetzt und dadurch CO₂-Emissionen nachhaltig vermieden. Auf Basis der Anzahl der in Deutschland installierten Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlagen, dem Pelletverbrauch und dem ermittelten Einsparpotential lässt sich die Größenordnung des Treibhausgas (THG)-Einsparpotenzials grob abschätzen:

Nach Angaben z. B. des DEPI 2013 waren 2011 in Deutschland etwa 155.000 Holzpellet-KFA installiert, in denen ca. 1,4 Mio. Tonnen Holzpellets pro Jahr verbraucht wurden. Zahlen in dieser Größenordnung können auch aus den Daten des Marktanreizprogramms des BAFA zur Förderung von Holzpellet-KFA und anderen Quellen abgeleitet werden. Unter der Annahme, dass die aus den Feldtests von (Kunde et al. 2009) und (Schraube et al. 2011) publizierten Jahresnutzungsgrade im Mittel etwa 73 % betragen und repräsentativ sind, ergibt sich unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Forschungsvorhabens mit möglichen Jahresnutzungsgraden zwischen 80 % und 85 % ein Einsparpotential von etwa 10 %. Dies bedeutet, dass rund 140.000 Tonnen Holzpellets (ca. 2,5 GJ/a) derzeit in ineffizient betriebenen Pellet-KFA verschwendet werden. Als mögliche THG-Vermeidung wird die Differenz der THG-Emissionen des Referenzsystems (87,6 gCO₂-Äq./MJ_{th}, Thrän et al. 2011) und von Holzpellet-KFA (7,2 g_{CO₂-Äq.}/MJ, GEMIS) angesetzt, sie beträgt ca. 80,4 gCO₂-Äq./MJ. Insgesamt können bei Umsetzung des Optimierungspotentials in Deutschland rund 200.000 tCO₂-Äq pro Jahr eingespart werden. Unter Berücksichtigung der Projektförderung durch das BMU ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten in Höhe von 0,63 € pro einsparbarer Tonne CO₂-Äq. pro Jahr.

Ausblick

Aus Sicht des Immissionsschutzes ist dringend zu empfehlen, darauf hinzuwirken, dass durch entsprechende Steuerungsmaßnahmen eine Betriebsweise von Holzpellet-Kleinf Feuerungsanlagen erreicht wird, die die Emissionen auf den angestrebten Grenzwert senkt.

erungsanlagen begünstigt wird, die zu real signifikant niedrigeren Emissionen als gegenwärtig führt. In diesem Zusammenhang wären Überlegungen interessant, zukünftig bei Holzpellet-Kleinfeuerungsanlagen einer Art Onboard-Diagnose zur Beurteilung der realen Betriebsweise einzuführen, wie dies bei modernen Automobilen heute üblich ist. Es sollte möglich sein, anhand der Beurteilung weniger, bereits in der Kesselsensorik integrierten Messgrößen zu identifizieren, in welchen Betriebszuständen ein Heizkessel überwiegend betrieben wird. Anhand einer Korrelation mit Emissionsmessdaten bei charakteristischen Betriebszuständen ließe sich dann das tatsächliche Emissionsverhalten abschätzen. Die onboard-Diagnose könnte vom zuständigen Bezirkskaminkehrermeister vor Ort kostengünstig ausgewertet werden.

Literaturverzeichnis

- Kunde, R.; Dormuth, I.; Gaderer, M.; Lauterbach, M.; Schmoeckel, G.: Endbericht zum Forschungsvorhaben LfU 0103301049 Praxistest zur Erhebung der Emissionssituation von Pelletfeuerungen im Bestand, Augsburg 2007, LfU Augsburg (Landesamt für Umwelt).
- Schnelle-Kreis, J.; Zimmermann, R.; Gaderer, M.; Kunde, R.; Schmoeckel, G.; Volz, F.; Ott, H.; Dobmeier, B.; Diemer, J.; Brandt, Ch.; Abbaszade, G.: Einfluss der Gebäudeheizungen auf die Feinstaub-Immissionen im Raum Augsburg, Forschungsvorhaben U47 des StMUGV, LfU Fachtagung 23.10.2008, Augsburg 2008.
- Kunde, R.; Volz, F.; Gaderer, M.; Spliethoff, H.: Felduntersuchungen an Pellet-Zentralheizungsanlagen, BWK Das Energiefachmagazin 1-2, 2009, S. 58-66.
- Schraube, Chr.; Jung, Th.; Mabilat, C.: Feldversuche mit kleinen Pelletkesseln – Untersuchung der Jahresnutzungsgrade, Konferenzbeitrag IBC Leipzig 2011.
- Software TRNSYS V 16.1., TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, Stuttgart, www.trnsys.de.
- Deutsches Institut für Normung. Deutsche Fassung der EN 12831 (2003 und 2008).
- Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Berlin: Beuth Verlag, 2003 und 2008.
- VDI 4655. Verein Deutscher Ingenieure: Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen. 2008.
- VDI 2066 – 1. Verein Deutscher Ingenieure. Richtlinie 2066 Teil 1. (1975 und 1999). Messen von Partikeln - Staubmessungen in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung, Berlin: Beuth Verlag, 2006.
- Thrän, D.; Volker, L.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): Messmethodensammlung Feinstaub: Methodenvorschläge zur Feinstaub erfassung an Feuerungsanlagen für feste biogene Brennstoffe (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 08), nichtveröffentlichte Arbeitsversion, Leipzig 2012.
1. BImSchV. Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38).
- Thrän, D.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): Methodenhandbuch: Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagas-effekte (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“) Version 2.1, Leipzig, Oktober 2011.
- DEPI 2013. Deutsches Pelletinstitut GmbH; Persönliche Auskunft, April 2013.
- GEMIS. IINAS GmbH – Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien; GEMIS 4.8-Globales Emissions-Modell integrierter Systeme, Datenbasis 2010, www.iinas.org.



Foto: S. Schicketanz

Grünlandenergie Havelland - Die energetische Nutzung von Gras und Schilf

Philipp Sauter¹, Frank Döhling¹, Andreas Pilz¹, Sven Schicketanz², Eric Billig¹, André Brosowski¹, Stefan Majer¹, Wolfgang Peters²

Vorhaben: Grünlandenergie Havelland - Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf am Beispiel der Region Havelland

FKZ-Nr.: 03KB035

Laufzeit: 01.11.2009 – 31.07.2012

Zuwendungssumme: 256.260 €

Koordination:

¹ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ)
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

www.dbfz.de

Projektpartner:

¹ Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB)

² Bosch & Partner GmbH

Kontakt:

Philipp Sauter
Telefon: +49 (0) 341 2434 552
E-Mail: philipp.sauter@dbfz.de

Daniela Thrän
Telefon: +49 (0) 341 2434 435
E-Mail: daniela.thraen@dbfz.de

Philipp Sauter (Projektleiter):

Heu von extensiven Flächen und Schilf verbleiben vielfach ungenutzt in der Natur. Bei einer energetischen Nutzung in Heuheizwerken können diese Rohstoffe sinnvoll eingesetzt werden und Treibhausgasemissionen eingespart sowie wirtschaftliche Erträge generiert werden.



Zusammenfassung

Viele Regionen Deutschlands verfügen über ein hohes Biomassepotenzial aus Gras- und Schilf, das bisher ungenutzt ist. Gleichzeitig besteht auch in ländlichen Regionen ein Wärmebedarf, der durch Heuheizwerke gedeckt werden könnte. Je nach Heuqualität, verfügbaren Mengen, dem Wärmebedarf sowie infrastrukturellen Voraussetzungen kann es empfehlenswert sein, Heuballenheizwerke zu installieren. Bei günstigen Voraussetzungen ist eine gute Wirtschaftlichkeit und im Vergleich zur Nutzung von fossilen Brennstoffen eine deutlich günstigere Treibhausgasbilanz zu erwarten. Im Einzelfall bieten sich auch Heupellettheizwerke an, wobei bei Anlagen kleiner 100 kW_{NWL} ein Nachweis zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte noch aussteht.

Hintergrund und Zielstellung

Energieerzeugung aus Biomasse leistet einen zunehmenden Beitrag zur Energiebereitstellung in Deutschland. In der Wärmeerzeugung wird dafür in Heizwerken vorwiegend Holz eingesetzt. Während der steigende Anteil erneuerbarer Energieträger von vielen Seiten begrüßt wird, steht demgegenüber häufig die Kritik, dass die energetische Nutzung von Holz in Konkurrenz zu dessen stofflicher Nutzung steht. So ist es aus ökologischer, wie auch aus der Perspektive sozialer Akzeptanz wünschenswert, alternative Konzepte zur Bioenergiebereitstellung zu untersuchen und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit zu prüfen. Dabei sollten vor allem biogene Abfälle und Reststoffe verstärkt in den Fokus der Betrachtung rücken. Hier knüpft das Vorhaben „Grünlandenergie Havelland“ an, welches die energetische Nutzung von bisher ungenutztem Landschaftspflegeheu und Schilf zum Inhalt hat.

Grünland wurde in der klassischen Landwirtschaft vorwiegend für die Viehwirtschaft genutzt. Frisches Gras, Grassilage und Heu stellen wesentliche Bestandteile des Futters der Nutztiere in Deutschland dar. Durch die zunehmende Nutzung anderer Futterpflanzen wie beispielsweise Maissilage oder Soja sowie durch den Rückgang der Rinderhaltung ist die Nutzung von Grünland aus landwirtschaftlicher Perspektive ungewiss. In Folge dessen wurden Grünlandflächen zu Ackerland umgebrochen, aufgeforstet oder schlicht vernachlässigt, wovon bestimmte Regionen wie das Havelland, Teile des Schwarzwalds oder des Bay-

erischen Walds stark betroffen sind. Um aus ökologischen und landschaftsästhetischen Gründen die Grünlandflächen zu erhalten, wurden seitens der Politik Maßnahmen – wie ein partielles Umbruchverbot oder die Veranlassung von Direktzahlungen für Brachflächen – ergriffen. Hierfür müssen die Flächen regelmäßig gepflegt werden, was mindestens eine Mahd pro Jahr sowie teilweise auch die Entfernung des Grünschnitts von der Fläche voraussetzt. Ähnliche Materialien fallen auch bei den regelmäßig stattfindenden Pflege- und Unterhaltungsarbeiten der Gewässerkanäle an. Eine Nutzung des Grünschnitts aus der Gewässerpflege findet in Deutschland bisher nicht statt.

Vor allem die Tatsache, dass eine weitere, konkurrierende Nutzung dieser Substrate nicht gegeben ist und diese Reststoffe oft in bereits konzentrierter Form vorliegen, macht sie wirtschaftlich interessant für eine energetische Verwertung.

Im Projekt „Grünlandenergie Havelland“ war es daher das übergeordnete Ziel, Konzepten zur energetischen Nutzung des anfallenden Grünguts von extensiven Grünlandflächen, Gewässerrändern und Biotopen zu entwickeln. Diese Nutzungskonzepte schließen unter Betrachtung der verfügbaren Technologien alle wesentlichen Schritte von der Rohstoffquelle bis zur energetischen Verwendung ein. Bewertet wurden die entwickelten Nutzungskonzepte anhand der Parameter Wirtschaftlichkeit, Treibhausgasemissionen und praktische Umsetzbarkeit. Die Untersuchungen erfolgten anhand der Modellregion Havelland. In der Region sind hohe Überschüsse von Gras aus der extensiven Grünlandbewirtschaftung, der Gewässer- und Biotoppflege zu erwarten, weshalb sie, stellvertretend für weitere grünland- oder gewässerreiche Regionen Deutschlands, herangezogen wurde.

Potenzialermittlung

Wichtige Grundlage tragfähiger Konzepte zur energetischen Nutzung von überschüssigem Gras und Schilf sind möglichst detaillierte Kenntnisse über die Menge, die regionale Verteilung und die Qualität der verfügbaren Rohstoffe. Sowohl die Dimensionierung der Heizwerke als auch die Bemessung der erforderlichen Transportentfernung ist von den verfügbaren Biomassepotenzialen abhängig. Die Qualität des Substrats ist wesentlich für einen gut geeigneten Brennstoff; weshalb dieser Parameter hier limitierend wirkt. Geeignete Methoden zur Erhebung energetisch nutzbarer Biomassepotenziale, die neben den Mengen auch die

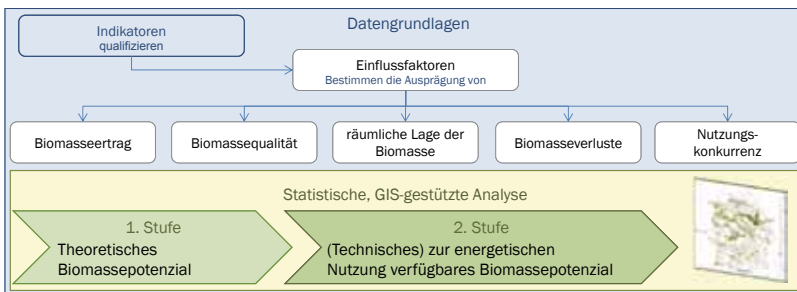


Abbildung 1: Schaubild der Analysestufen und Parameter der Biomassepotenziale

Qualität der Einsatzstoffe und deren räumliche Verteilung ermitteln, sind daher ein Schlüssel zu erfolgreichen Nutzungskonzepten.

Die Analyse des Biomassepotenzials erfolgte auf der Grundlage geographischer und statistischer Daten wie z. B. aggregierte InVeKoS-Daten (InVeKoS 2009). Zur Bestimmung der relevanten Parameter Menge, Qualität und räumliche Lage etc. wurden verschiedene Einflussfaktoren ermittelt und mit Hilfe des GIS räumlich ausgewertet und abgebildet (Abbildung 1).

Der im Rahmen des Projektes entwickelte und erprobte Ansatz zur Potenzialermittlung umfasst zwei Stufen. Auf der ersten Stufe wird die Ausprägung der Parameter Biomasseertrag, räumliche Lage der Biomasse und Biomassequalität zur Bestimmung des theoretischen Potenzials abgeschätzt. Die Berechnung des technischen Potenzials, unter besonderer Berücksichtigung der für den Verbrennungsprozess nötigen Biomassequalität, erfolgt auf der zweiten Stufe. Dort werden die Parameter Biomasseverluste und Nutzungskonkurrenzen ermittelt.

Die auf diese Weise ermittelten Biomassepotenziale des Untersuchungsgebiets können anschließend bezogen auf einzelne Teilflächen weiter ausgewertet werden. So können Gebiete mit besonders hohem und konzentriertem Aufkommen (Hotspots) identifiziert werden, welche sich für die Entwicklung von Konzepten zur energetischen Nutzung besonders anbieten.

Im Ergebnis der Potenzialanalyse im Untersuchungsgebiet wurde ein energetisch nutzbares Biomassepotenzial der betrachteten Biomassesortimente von jährlich 40.800 t TM berechnet. Davon sind rund 25.200 t TM/a besonders gut für die Verwertung in Heizwerken geeignet. Hotspots zeigen sich vor allem im Umkreis von 20 km Luftlinie um Fehrbellin.

Wärmebedarfsermittlung

Die betrachteten Biomassesortimente Gras und Schilf sollen bei einer energetischen Verwendung vornehmlich für die Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Um die erzeugte Wärme wirtschaftlich nutzen zu können, bedarf es geeigneter Wärmeabnehmer. Daher war es ein Ziel dieses Projekts, die potenziellen Wärmenutzer in der Untersuchungsregion zu quantifizieren und regional zuzuordnen. Ein besonderer Fokus liegt auf den potenziellen Wärmenutzern, bei denen sich die Installation eines Heuheizwerks als sinnvoll erweisen würde. Grundlage dafür ist die Identifizierung entsprechender potenzieller Wärmenutzer über Statistiken (Regionaldatenbank Deutschland 2010) und branchenspezifische internetbasierte Suchmaschinen. Die Quantifizierung des Wärmebedarfs erfolgt anhand von Berechnungen individuell für jeden potenziellen Wärmenutzer. Dafür werden die jeweiligen Größenangaben mit den spezifischen Kennwerten zum Wärmeverbrauch aus der Literatur herangezogen (v. a. Schlomann et al. 2004; RWI/forsa 2011; Verbrauchskennwerte 2010). Zur Validierung der Berechnungsergebnisse erfolgt parallel auch eine Befragung der Betriebe und Einrichtungen zu ihrem Wärmebedarf sowie zu weiteren relevanten Parametern.

Im Ergebnis der Untersuchung zeigte sich, dass die Berechnung des Wärmebedarfs über spezifische Kennwerte aus der Literatur für eine erste Einschätzung gut angewandt werden kann. Für eine detailliertere regionale Überprüfung empfiehlt sich jedoch eine Befragung der Wärmenutzer, um die Berechnungsergebnisse durch Literaturangaben zu präzisieren

beziehungsweise zu vervollständigen. Erwartungsgemäß sind große Wärmesenken vorwiegend in größeren Ballungsräumen wie zum Beispiel Brandenburg an der Havel, Rathenow, Friesack oder Neuruppin zu finden. Aber auch in ländlich geprägten Gebieten sind vielfach Wärmenutzer wie Wohngebäude, Gewerbebetriebe oder Landwirtschaftsbetriebe zu finden, die bei genauer Betrachtung ebenfalls potenzielle Wärmeabnehmer von Heuheizwerken darstellen können. Insgesamt belief sich der Wärmebedarf im Untersuchungsgebiet auf ca. 3,5 ($\pm 1,5$) TWh/a. Dieser Bedarf verteilt sich zu rund 3,2 TWh/a auf Haushalte und zu rund 0,2 TWh/a auf öffentliche und gewerbliche Einrichtungen. Daraus wird ersichtlich, dass Wärme vor allem zur Raumbeheizung benötigt wird. Da sich eine ungleichmäßige Verteilung des Wärmebedarfs im Jahresverlauf zunächst negativ auf einen wirtschaftlichen Betrieb einer Biomasseanlage auswirkt, könnte sich häufig ein bivalentes Heizsystem empfehlen. Dabei werden der Wärmegrundbedarf über ein Heuheizwerk und der Spitzenbedarf mit einem fossil befeuerten Spitzenlastkessel abgedeckt. Größere Heuheizwerke eignen sich besonders für größere Gewerbe- und Industriebetriebe sowie für die Wärmebereitstellung über die in der Region Havelland häufig vorhandenen Nah- und Fernwärmenetze. Kleinere Heuheizwerke können sich darüber hinaus auch für die Wärmebereitstellung von kleineren Gewerbebetrieben oder Mehrfamilienhäusern eignen.

Einsatz von Heu in Verbrennungsanlagen - Technische Parameter

Die Verbrennung von Heu stellt einen wesentlichen Konversionspfad bei der Analyse zur energetischen Nutzung dieser Biomassefraktion dar und wird in Deutschland schon seit längerer Zeit diskutiert. In der Praxis hat dieser Konversionspfad jedoch bisher kaum Relevanz, da Heu verbrennungstechnische Herausforderungen mit sich bringt, die bisher technisch nur schwer beherrschbar waren. Vor diesem Hintergrund wurde in diesem Projekt auch die Pelletierung von Heu als Mittel der Brennstoffoptimierung untersucht.

Brennstoffpelletierungstechnik

Bei der Pelletierung handelt es sich um eine etablierte Technik aus dem Bereich der Futtermittel- und Holzbrennstoffpelletierung. Bedingt durch die chemische Zusammensetzung ergeben bei der Nutzung von Heu besondere Herausforderungen um einen Brennstoff mit verbrennungstechnisch guten Eigenschaften herzustellen. Die breite Anwendung in der Praxis erfolgt bis dato noch nicht. Grundlegend kann die Pelletierung von Heu jedoch als

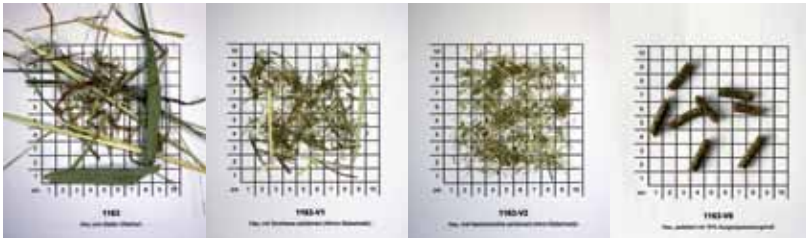


Abbildung 2: Materialveränderung im Zuge der Pelletherstellung (Rohmaterial aus Ballen, Grobzerkleinerung, Feinzerkleinerung, Pelletierung)

technisch handhabbar bezeichnet werden. Abbildung 2 zeigt das Material nach den Teilverfahrensschritten der Pelletierung.

Je nach Herkunft und Beschaffenheit des Rohstoffs können die eingestellten Parameter einen unterschiedlichen Einfluss bei der Pelletierung haben.

Schlussfolgernd ist für Materialien mit abweichenden Eigenschaften (zum Beispiel Verholungsgrad, oder Faserstruktur) eine gezielte Anpassung der einzustellenden Parameter notwendig, um entsprechende physikalisch-mechanische Qualitäten (Abriebfestigkeit bzw. mechanische Festigkeit, Schüttdichte) zu erlangen. So zeigten die Versuche am DBFZ, dass

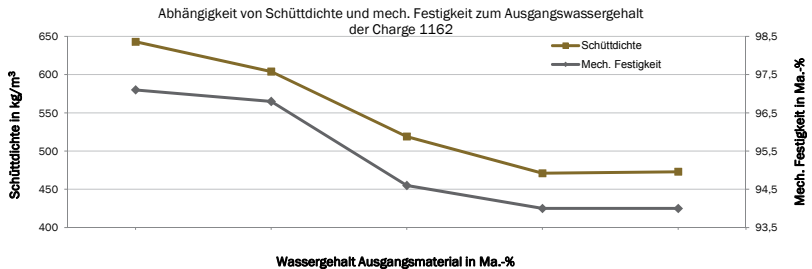


Abbildung 3: Einfluss des Ausgangswassergehalts auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften

Pellets mit verringertem Wassergehalt (als ein Optimierungsparameter) eine höhere Festigkeit aufweisen (Abbildung 3).

Um die verbrennungstechnischen Eigenschaften zu verbessern kann die Zugabe von Additiven zielführend sein. Absicht dabei ist es die kritischen Eigenschaften von Heu wie Verschlackungsneigung und Emissionsverhalten zu verbessern. Beispielführend wurde in Versuchen die Zugabe von $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 und Kaolin betrachtet, um die verbrennungstechnischen Eigenschaften zu verbessern. Dabei zeigt sich bei der Pelletierung kein negativer Effekt auf die mechanische Festigkeit und Schüttdichte (Sauter et al. 2013).

Heizwerktechnik

Da es aktuell keine speziell für Grünschnitt ausgelegten Heizkessel gibt, wird auf bewährte Feuerungstechnik aus dem Bereich der Strohverbrennung zurückgegriffen. Stroh und Heu haben vergleichbare Brennstoffeigenschaften. Generell werden dabei ein hoher Anlagenwirkungsgrad und eine emissionsarme Verbrennung bei gleichzeitig geringem Wartungsaufwand und einem langlebigen Betrieb der Anlagen angestrebt.

Die thermische Nutzung von Heu kann in Form von Pellets, Ballen oder Häckselgut erfolgen, wobei Pellets durch ihre positiven Eigenschaften (hohe Energiedichte, gute Fließ- und Dosiereigenschaften) und trotz höherer Herstellungskosten insbesondere im Bereich der nicht-genehmigungspflichtigen Kleinf Feuerungsanlagen (Leistungsbereich von 4 bis 100 kW_{NWL}) relevant sind. Im Bereich der genehmigungspflichtigen Anlagen (> 100 kW_{NWL} bis mehrere MW_{NWL}) kommen meist Ballen- bzw. Häckselgutfeuerungen zum Einsatz.

Der Einsatz biogener Festbrennstoffe wird durch das Bundesimmissionschutzgesetz und die darin enthaltenen Bundesimmissionschutzverordnungen (BImSchV) geregelt. In diesen Regelwerken sind Emissionsgrenzwerte aufgeführt. Die sechs-monatigen Heuverbren-

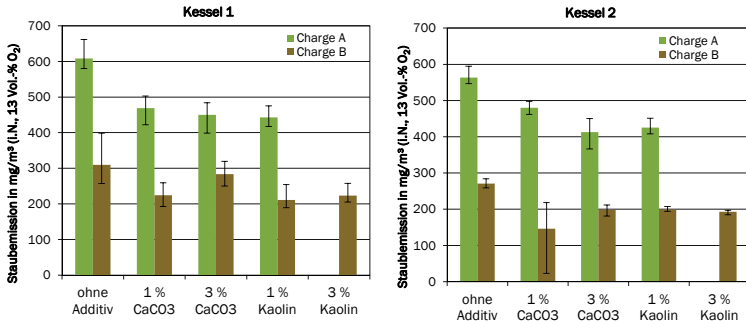


Abbildung 4: Feinstaubemissionen der Versuchsbrennstoffe in zwei Kesselanlagen

nungsversuche am DBFZ zeigten, dass vor allem die Feinstaubemissionen den Grenzwert von $0,02 \text{ g/m}^3$ teilweise um das sechsfache überschritten (Abbildung 4). Obwohl die Zugabe von Additiven wie $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 und Kaolin eine Minderung der Feinstaubemissionen um bis zu 30 % ermöglicht, ist dies meist nicht ausreichend, um den geforderten Grenzwert einzuhalten (Abbildung 4). Im Bereich der genehmigungsbedürftigen Anlagen nach 4. BImSchV ($0,1 > 50 \text{ MW}_{\text{NWL}}$) sollte eine Nutzung mit entsprechend leistungsfähiger Filtertechnik (z. B. Zyklon, Elektro- oder Gewebefilter, Rauchgaswäsche, Adsorptionsverfahren) erfolgen. In diesem Leistungsbereich sind vor allem Ganzballenverbrennungsanlagen verschiedener Hersteller am Markt verfügbar, die weitestgehend in standardisierter Ausführung angeboten werden (Beispiel in Abbildung 5).



Abbildung 5: Bilder zur Produktpalette der Fa. Linka (DK), Deutscher Vertriebspartner Hans-Jürgen Helbig GmbH Luft- und Wärmetechnik in Nörten-Hardenberg, Quelle: http://www.linka.dk/content/us/plant_types/heating_plant/straw_1500_%E2%80%93_10000kw

Die vergleichsweise schwierigen Verbrennungseigenschaften von Heu – ein hoher Aschegehalt, hohe Gehalte an korrosions- und emissionsrelevanten Elementen und eine erhöhte Verschlackungsneigung – sind neben den technischen Schwierigkeiten auch hinsichtlich einer genehmigungsrechtlichen Einordnung als Hemmnisse in Bezug auf die Nutzung in Kleinf Feuerungsanlagen anzusehen. Daher ist der Einsatz von Heupellets in genehmigungsbedürftigen Kleinf Feuerungsanlagen im Leistungsbereich zwischen 4 und $100 \text{ kW}_{\text{NWL}}$ nach aktuellem Stand nicht gegeben. Es steht jedoch in Aussicht, dass anlagentechnische Verbesserungen sowie Innovationen zur Emissionsminderung wie Feinstaubfilter oder auch neuartige Ansätze zur Brennstoffoptimierung in naher Zukunft marktfähig werden und die Emissionsgrenzen dann eingehalten werden können.

Nutzungskonzepte für die energetische Verwendung halmgutartiger Biomasse in Heizwerken

Um die Möglichkeiten der Nutzung von Heu beurteilen und bewerten zu können, wurden im Folgenden beispielhafte Nutzungskonzepte sowohl mit der Nutzung von Pellets sowie auch von Heuballen entwickelt:



- **Nutzungskonzept I:** Ein Heupelletheizwerk mit einer Leistung von 75 kW_{th} bzw. 150 kW_{th} (beides monovalent) und letzteres in Kombination mit einem 300 kW_{th}-Öl-Spitzenlastkessel in bivalenter Auslegung.
- **Nutzungskonzept II:** Ein Heuballenheizwerk mit einer Leistung von 400 kW_{th} mit einem 400 kW_{th}-Öl-Spitzenlastkessel.

Ein Vergleich der betrachteten Nutzungskonzepte hat deutlich gemacht, dass die energetische Nutzung von Grünlandschnitt in Form von Pellets in der bivalenten 150 kW_{th}-Ausführung mit einem Spitzenlastkessel (300 kW_{th} Öl) das wettbewerbsfähigste Konzept darstellt. Im Bereich der nicht-genehmigungspflichtigen Kleinf Feuerungsanlagen (< 100 kW_{th}), beispielsweise für die Wärmeversorgung von Ein- und Mehrfamilienhäusern, ist eine Nutzung derzeit aufgrund hoher Emissionswerte nicht möglich. Die weiteren entwickelten Konzepte eignen sich gut zur Versorgung größerer Objekte wie Betrieben oder größeren Wohneinheiten und zur Wärmeversorgung über kleinere Nahwärmenetze. Eine detailliertere Darstellung der Nutzungskonzepte ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Nutzungskonzepte zur energetischen Nutzung in Verbrennungsanlagen

Nutzungskonzept	Wärmebedarf [kWh/a]	Brennstoffe
I	90.000	K 1a: Heupellets (75 kW) K 1b: Holzpellets (75 kW) K 1c: Heizöl (75 kW)
	225.000	K 2a: Heupellets (150 kW) K 2b: Holzpellets (150 kW) K 2c: Heizöl (150 kW)
	787.500	K 3a: Heupellets (150 kW) + Heizöl (300 kW), K 3b: Holzpellets (150 kW) + Heizöl (300 kW), K 3c: Heizöl (450 kW)
II	1.400.000	K.a: Heuballen (400 kW) + Heizöl (400 kW) K.b: Hackschnitzel (400 kW) + Heizöl (400 kW) K.c: Heizöl (800 kW)

Heupelletierungsvarianten für das Nutzungskonzept I

Die Herstellung von Heupellets kann im Wesentlichen in vier verschiedene Varianten untergliedert werden:

- **Variante 1:** Eigene Pelletierung, groß, zentral,
- **Variante 2:** Eigene Pelletierung, klein (< 0,25 t/h), dezentral,
- **Variante 3:** Lohnpelletierung, groß, zentral,
- **Variante 4:** Lohnpelletierung, groß, mobile Anlage.

Die Varianten 1 und 2 beruhen auf Heupelletierungsanlagen in der Hand der Heizwerksbetreiber bzw. der Landwirtschaftsbetriebe. Bei eigenen Anlagen bestehen hohe Investitionskosten, was aus wirtschaftlichen Gründen eine hohe Auslastung, gegebenenfalls mit weiteren Pelletprodukten, erfordert. Kleine Anlagen entsprechen dabei in etwa einem Stundendurchsatz von weniger als 0,25 t, während größere Anlagen meist einen Stundendurchsatz von einer Tonne und mehr haben. Die Variante 3 stellt die Möglichkeit der Pelletierung in bestehenden Pelletwerken dar. Größere Chargen können dabei häufig in Lohnverarbeitung pelletiert werden. Konzept 4 steht für eine kompakte Pelletieranlage auf einem Fahrgestell oder in einem Container, die vereinzelt von landwirtschaftlichen Lohnunternehmern betrieben wird. Die Konzepte 3 und 4 zeichnen sich durch ihre geringen Investitionskosten mit entsprechend geringem Risiko aus. Während Konzept 3 bei räumlicher Nähe zumeist das günstigste Pelletierungskonzept darstellt, erweist sich Konzept 4 als das teuerste. Aufgrund deren Mobilität ist hierbei jedoch die Möglichkeit zur Pelletierung lokal kleinerer Mengen direkt beim Brennstoffhersteller gegeben.

Ökonomische Bewertung

Die Bewertung der Nutzungskonzepte erfolgt anhand von Vollkosten. Dazu werden die folgenden vier Prozessschritte untersucht:

- Aufwand für die Bereitstellung vom Feld bis zum Anlagenlager
- Aufwand für die Aufbereitung (Pelletierung)
- Aufwand für die Lieferung von der Aufbereitung zum Endkunden
- Aufwand für die Nutzung im Wärmeerzeuger

Die Bereitstellungskosten (Ernte, Lagerung und Transport) wurden anhand von maschinenspezifischen KTBL-Kostensätzen (KTBL 2010) sowie aktuellen Treibstoffpreisen errechnet. Zur Berechnung der Wärmeerzeugung wurde die Vollkostenrechnung entsprechend der Richtlinie VDI 2067 herangezogen (VDI 2067). Weiterhin sind Angaben aus Richtpreisangeboten, Preislisten und Erfahrungen aus beratenen und realisierten Anlagen in die Berechnung eingeflossen. In Abbildung 6 werden die Annuitäten der Kosten sowie die Wärmege-

stehungskosten von Heupelleteiswerken (Nutzungskonzept I) mit einer vorausgehenden stationären Pelletierung (Variante 3) dargestellt. Im Havelland befinden sich ein Holzpelletwerk und ein Futtermittelpelletwerk, weshalb sich die Pelletierungsvariante 3 dort als die Günstigste herausgestellt hat. Die günstigsten Wärmegestehungskosten weist das größte der betrachteten Heupelleteiswerke in Kombination mit einem Spitzenlastkessel auf (Abbildung 6).

Hinsichtlich der Heuballenverbrennung wurde deutlich, dass ähnlich hohe Wärmegestehungskosten wie bei der Nutzung von Holz hackschnitzeln bestehen (Abbildung 7). Bei regional höheren Holz hackschnitzelpreisen, einer geringen Verfügbarkeit von Holz hackschnitzeln oder effizienteren Ernteverfahren bei der Heubereitstellung könnten sich Heuballenverbrennungsanlagen als vorteilhaft erweisen.

Ganzballenverbrennungsanlagen werden bereits am Markt vertrieben und installiert. In diesem Leistungsbereich ($> 100 \text{ kW}_{th}$) sind im Einzelfall die seitens der genehmigenden Behörde an die Verbrennungsanlagen gestellten Forderungen an die Abgasreinigung ausschlaggebend. Dies gilt insbesondere für den Umfang der zu messenden Abgaskomponenten und den diesbezüglich festgelegten Emissionsgrenzwerten.

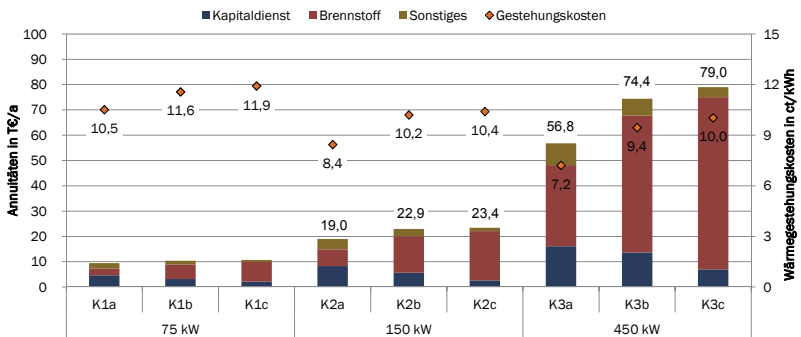


Abbildung 6: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept I - Stationäre Lohnpelletierung in Fehrbellin; Kxa: Heupellets, Kxb: Holzpellets, Kxc: Heizöl

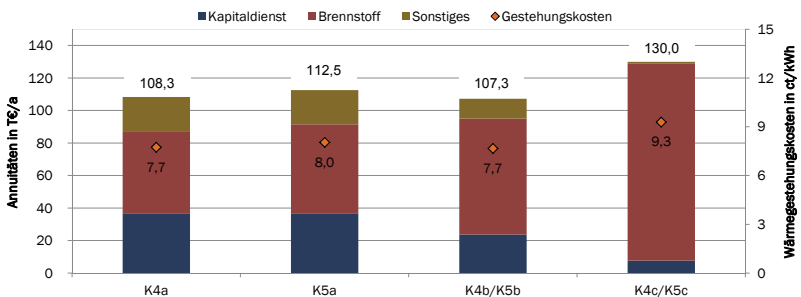


Abbildung 7: Annuitäten und Wärmegestehungskosten der Heuverbrennung und der Referenzkonzepte entsprechend Nutzungskonzept II - Heuballenverbrennung; Kxa: Heuballen, Kxb: Holz hackschnitzel, Kxc: Heizöl, K4: Neuruppin, K5: Brandenburg

Bewertung anhand der Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der THG-Emissionen erfolgt entsprechend der IPCC-Richtlinien (IPCC 2006). Für weitere Annahmen wurde das im Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ zusammengestellte Methodenhandbuch herangezogen (Thrän/Pfeiffer 2012). Im Ergebnis weisen alle betrachteten Konzepte ein sehr hohes Emissionseinsparpotenzial gegenüber der Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen auf, nämlich mindestens 80 % (Abbildung 8).

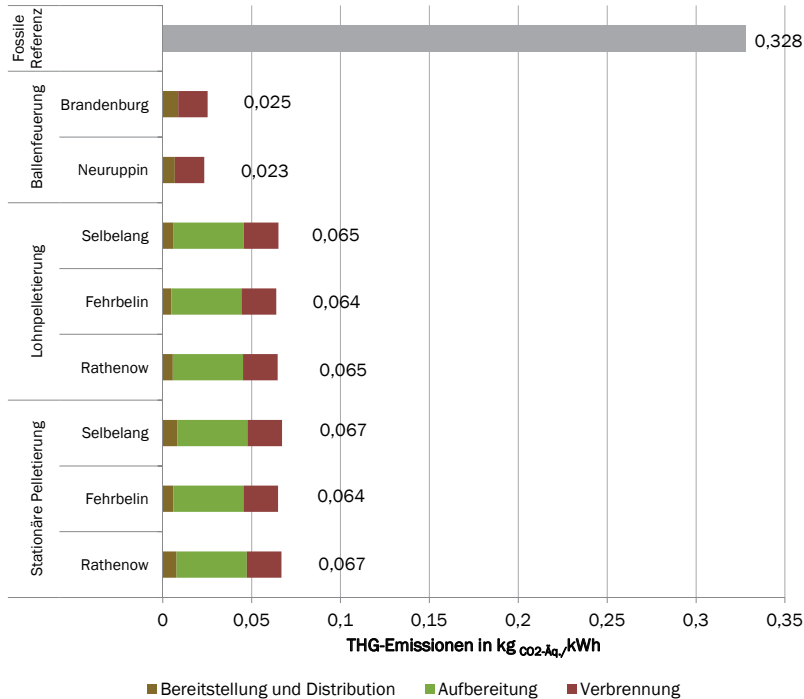


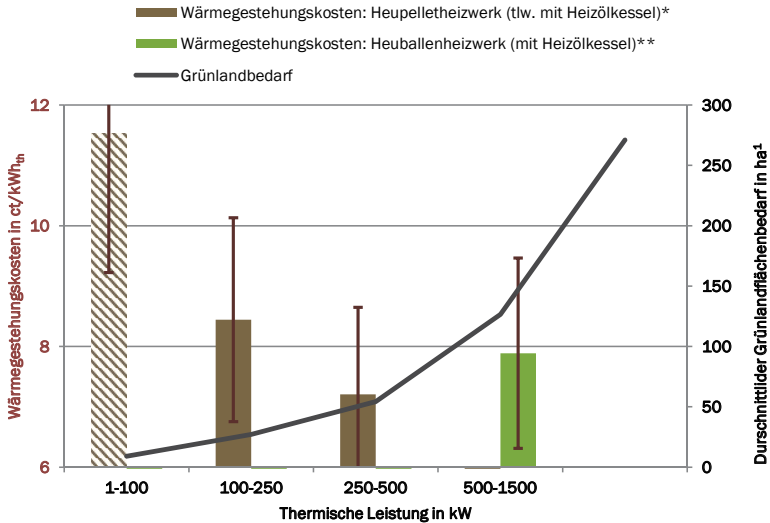
Abbildung 8: Vergleich der THG-Emissionen unterschiedlicher Standorte und Nutzungskonzepte zur Produktion von Wärme auf Basis von Heu (in kg_{CO2-Äq.}/kWh_{th})

Entsprechend Abbildung 8 erweisen sich besonders die Heuballenverbrennungsanlagen aus dieser Perspektive als vorteilhaft. Hier sind THG-Einsparungen von ca. 90 % möglich.

Ausblick zur praktischen Anwendbarkeit

Die Erarbeitung eines passenden Nutzungskonzeptes muss im Hinblick auf die konkreten Bedingungen vor Ort erfolgen. Die wesentlichen Faktoren, nach denen sich die Anwendung entsprechender Konzepte richten, sind die Substratverfügbarkeit und die Verwertung der Wärme in der Anlagenumgebung sowie die technische Reife der angewandten Technologien.

Die Wärmenutzung ist eine wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Anlagenbetrieb. Allgemein sollte gewährleistet sein, dass über die Dauer der Anlagenlaufzeit eine ausreichend hohe Auslastung der Anlage gewährleistet werden kann. Anhand des Leistungsbedarfs lassen sich in Abbildung 9 entsprechende Heuheizwerkskonzepte entnehmen.



*THG-Minderungspotenzial gegenüber Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern: rund 80 %

**THG-Minderungspotenzial gegenüber Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern: rund 90 %

¹ Berechnung des Flächenbedarfs für Heuheizwerke (Heizölkessel nicht miteinbezogen) anhand folgender Angaben: Nutzungsgrad thermisch 80 %, 1.700 jährliche Vollbenutzungsstunden, Heizwert 4,8

Abbildung 9: Schematische Darstellung zur Anwendung der Nutzungskonzepte in Abhängigkeit vom Wärmebedarf potenzieller Wärmenutzer, den Wärmegestehungskosten sowie von der verfügbaren Grünlandfläche

Bei der Planung und Umsetzung muss zudem darauf geachtet werden, dass in Abhängigkeit der erforderlichen thermischen Leistung der entsprechende Brennstoffbedarf gedeckt werden kann. Dieser ist in Abbildung 9 als Flächenbedarf angegeben. Wobei neben den quantitativen Voraussetzungen auch Qualitätsbedingungen bestehen. Für Heizwerke sollte vorwiegend Heu mit geringem Gehalt an verbrennungstechnisch schwierigen Elementen wie K, Cl, und N eingesetzt werden. Eine genaue Abstimmung muss im Einzelfall in Abhängigkeit von der verwendeten Heizwerks- und Abscheidetechnologie erfolgen. Generell vorteilhaft bei der Brennstoffbeschaffung sind die derzeit begrenzten alternativen Verwendungsmöglichkeiten von Gras und anderen halmgutartigen Biomassen von extensiv bewirtschaftetem Grünland sowie aus der Gewässer- und Biotoppflege. Da die Nutzung des Grünguts häufig mit Naturschutzzielen einhergeht und keine Konkurrenz zur stofflichen Produktion wie bei Holz besteht, ist von einer hohen Akzeptanz seitens der Bevölkerung für die betrachteten Nutzungskonzepte auszugehen.

Literaturverzeichnis

InVeKoS: Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem. Ausgewählte Landkreise Brandenburgs, LELF, 2009.

Statistische Ämter des Bundes und der Länder: Regionaldatenbank Deutschland. URL: <https://www.regionalstatistik.de> (Stand: 12.5.2010).

Schlomann, B.; Gruber, E.; Geiger, B.; Kleeberger, H.; Wehmhörner, U.; Herzog, T.; Konopken, D.-M.: Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD). Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, München, Leipzig, 2004.

RWI/forsa: Erhebung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte für die Jahre 2006-2008. Köln, 2011.

Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse m.b.H. (ages): Verbrauchskennwerte 2005. Energie- und Wasserverbrauchskennwerte der Bundesrepublik Deutschland. Münster, 2010.

Sauter, P.; Billig, E.; Döhling, F.; Pilz, A.; Brosowski, A.; Kirsten, C.; Bosch, J.; Büchner, D.; Majer, S.; Weller, N.; Witt, J.; Seidenberger, T.; Schick Tanz, S.; Peters, W.; Lochmann, Y.; Prochnow, A.: Grünlandenergie Havelland - Entwicklung von übertragbaren Konzepten zur naturverträglichen energetischen Nutzung von Gras und Schilf am Beispiel der Region Havelland. Endbericht. Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Leipzig, 2013.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL): Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11, KTBL, Darmstadt, 2010, 22. Aufl., Ausgabe 2010 - ISBN: 978-3-941583-38-2

Verein Deutscher Ingenieure (VDI): VDI 2067 Blatt 40 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Grundlagen und Kostenberechnung; VDI, Düsseldorf, 2012.

IPCC: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use, 2006.

Thrän, D.; Pfeiffer, D. (Hrsg.): Methodenhandbuch Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagasefekte (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 04), Leipzig 2012 - ISSN 2192-1806

Foto: Angela Gröber, DBFZ

Thermische Verwertung von mechanisch entwässertem Biertreber

Samir Binder, Andreas Weger, Winfried Ruß, Andreas Hornung

Vorhaben: Optimierte energetische Nutzung eines nassen Abfalls (Biertreber) durch Kombination biologischer, mechanischer und thermischer Verfahren

FKZ-Nr.: O3KB038

Laufzeit: 01.10.2009 – 30.09.2011

Zuwendungssumme: 296.000 €

Koordination:

Technische Universität München
Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie
Petersgasse 18, 94315 Straubing
www.rohstofftechnologie.de

Endbericht:

<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb12/727514156.pdf>

Projektpartner:

Fraunhofer UMSICHT – Sulzbach-Rosenberg
Harburg-Freudenberger Maschinenbau GmbH
GEA Brewery Systems GmbH

Kontakt:

Samir Binder
Telefon: +49 (0) 9661 908 410
E-Mail: samir.binder@umsicht.fraunhofer.de



Samir Binder (Projektleiter):

Immer mehr kleinere und mittlere Brauereien verschreiben sich dem Umweltgedanken und decken ihren Wärmebedarf mit Holz. Wenn darüber hinaus der sonst zu nasse Treber durch ein ökonomisches und robustes Verfahren entwässert und mitverbrannt werden kann, bietet sich dem Brauer ein echter Mehrwert. Genau das konnte in diesem Projekt gezeigt werden.

Zusammenfassung

Treber ist ein nicht einfach zu verwertender Energieträger. In Biogasanlagen stört der Faseranteil – bei der Verbrennung stören die NO_x - und SO_2 -Emissionen der Proteinfraction und vor allem das Wasser. Eine Trocknung schließt sich aus Energiegründen aus. Daher wurde ein alternativer Ansatz zur energetischen Verwertung untersucht. Die Abtrennung der leicht biologisch abbaubaren Substanzen erfolgt zusammen mit dem Wasser in einer Schneckenpresse und unter Zugabe von Detergentien. Die Eignung des Presswassers für eine Biogasanlage wurde nachgewiesen. Die Fasern können direkt verfeuert werden. Da der Energieinhalt der Biertreber nicht für eine Vollversorgung der Brauerei (max. 50 %) ausreicht, muss das Feuerungssystem so angepasst werden, dass weitere Biomassen eingesetzt werden können.

Hintergrund und Zielstellung

Biertreber findet vor allem als Futtermittel in der Landwirtschaft Verwendung. Durch die eingeschränkte biologische Stabilität und den hohen Wassergehalt sind die Haltbarkeit und damit der Transportradius um die Brauereien eng begrenzt. Es entstehen häufig Entsorgungsprobleme durch Umstrukturierungen in der Landwirtschaft sowie durch Unternehmenskonzentrationen in der Brauindustrie.

Aufgrund des hohen organischen Anteils sind Biertreber auch für eine weitere energetische Verwertung äußerst interessant. Vor allem Brauereiunternehmen haben ein großes Interesse an einer weiteren Nutzung als Energieträger, da der Treber für eine direkte Weiterverwertung unmittelbar zur Verfügung steht. Zudem werden Brauereien mit steigenden Energie- und Transportkosten belastet.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wurden bereits zahlreiche Forschungsarbeiten durchgeführt, um alternative Verwertungsstrategien zu entwerfen. Vor allem die energetische Nutzung von Biertrebern durch anaerobe Fermentation zu Biogas oder als Brennstoff in Feuerungsanlagen stand dabei im Fokus. Trotzdem gibt es bis heute immer noch kein schlüssiges Konzept zur energetischen Nutzung von Biertrebern.

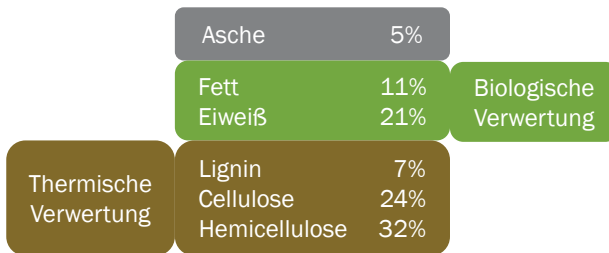


Abbildung 1: Optimale energetische Verwertung der biochemischen Bestandteile von Biertrebern in Mass.-% TS (verändert nach Pesta 2008)

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Optimierte energetische Nutzung eines nassen Abfalls (Biertreber) durch die Kombination biologischer, mechanischer und thermischer Verfahren“ (FKZ 03KB038) wurde daher ein alternativer Ansatz zur energetischen Verwertung untersucht (Abbildung 1). Ziel war es, durch mechanische Vorbehandlung den Biertreber auf TS-Gehalte $> 40\%$ zu entwässern. Die Flüssigphase wurde dann in Batch-Gärtests auf ihre prinzipielle Vergärbarkeit hin untersucht. Zudem musste der Nachweis zur thermischen Verwertung des entwässerten Pressrückstandes als Mono- oder Mischbrennstoff unter Einhaltung emissionsrechtlicher Vorgaben erbracht werden.

Methoden und Ergebnisse

Ergebnisse der Entwässerung und der Vergärungsversuche

Gegenstand der Untersuchungen war sowohl Läuterbottichtreber (LBT) als auch Maischefiltertreber (MFT), der wesentliche Unterschied liegt in der Körnung. Bei MFT wird das Malz in einer Hammermühle zerkleinert, bei LBT in einer Schrotmühle. In Hammermühlen wird eine feinere Vermahlung erreicht. Das Malz weist dann eine feinkörnigere Substanz auf, da alle Bestandteile der Körner, insbesondere die Spelzen, zertrümmert werden. Der grobkörnige Läuterbottichtreber enthält dagegen noch ganze Kornreste, vor allem aber Spelzen.

In den Versuchen zur mechanischen Entwässerung wurde durch fortlaufende Optimierung der Schneckenpresse für LBT und MFT eine geeignete Konfiguration entwickelt. Insgesamt wurde sowohl für LBT als auch MFT eine Entwässerung auf TS-Gehalte von $44,4\%$ und damit der angestrebte Zielwert erreicht. Zusätzlich wurde noch der Einfluss verschiedener Detergenzien und zweier Enzyme auf die Entwässerung untersucht. Allerdings konnte nur durch den Einsatz der beiden Enzyme eine Verbesserung erzielt werden.

In den Batch-Gärtests konnte nachgewiesen werden, dass das erzeugte Presswasser sehr gut für die Vergärung geeignet ist. Für nicht entwässerten Biertreber wurde ein spezifischer Biogasertrag von $500 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{OTS}}$ gemessen. Der Wert korrelierte sehr gut mit dem Literaturwert von $533 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{OTS}}$. Im Vergleich zum theoretischen Biogaspotenzial von $883 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{OTS}}$, bedeutet dies aber lediglich einen anaeroben Abbau der zugeführten Organik von ca. 57% . Im Gegensatz dazu konnte mit dem LBT-Presswasser ein spezifischer Biogasertrag von 700 bis $725 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{OTS}}$ erzielt werden, für MFT-Presswasser wurden sogar $830 \text{ l}_N/\text{kg}_{\text{OTS}}$ gemessen.

Charakterisierung Brennstoffe

In den Feuerungsversuchen wurden Pressrückstände aus den Entwässerungsversuchen mit LBT und MFT in Kombination mit Holzhackschnitzeln (HHS) eingesetzt, die bezüglich ihrer Zusammensetzung kurz beschrieben werden.

Zur Brennstoffcharakterisierung wurde mit LBT-Pressrückstand eine Elementaranalyse und eine Heizwertbestimmung durchgeführt. Die Ergebnisse konnten auch auf die Versuche mit MFT übertragen werden, da beide Biertreberarten aus Gerstenmalz bestehen. Der einzige Unterschied liegt in der Aufbereitung des Gerstenmalzes vor dem eigentlichen Brauprozess. Das Ergebnis der Elementaranalyse und Heizwertbestimmung für den LBT-Pressrückstand zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Ergebnis der Elementaranalyse und der Heizwertbestimmung für LBT-Pressrückstand

Pressrückstand	$H_{i(wf)}$ [MJ/kg]	C [%-TS]	H [%-TS]	N [%-TS]	Asche [%-TS]
LBT	19,6	50,4	6,51	2,45	3,2

Der analysierte Heizwert des Pressrückstands von 19,6 MJ/kg_{TS} stimmte dabei sehr gut mit dem Literaturwert von 20 MJ/kg_{TS} überein. Der Wert wurde im Weiteren unabhängig von der Birtreberart als Grundlage zur Heizwertberechnung für den LBT- und MFT-Pressrückstand genutzt, Abbildung 2 zeigt einen LBT- und MFT-Pressrückstand.



Abbildung 2: LBT-Pressrückstand (links) und MFT-Pressrückstand (rechts)

Thermische Versuchsanlage

Die Feuerungsversuche wurden mit einer Muldenfeuerung mit wassergekühlter Brennmulde der Fa. Ökotherm C 30 durchgeführt. Die Nennwärmeleistung der Anlage beträgt 30 kW_{th}, die maximale Abgastemperatur bei Vollast 200 °C und der maximale Abgasvolumenstrom 150 m³N/h. Die Brennstoffzufuhr erfolgt komplett automatisch über eine Stokerschnecke. Mittels Ascheschieber wird die Feuerung automatisch entascht. Die Feuerung zündet mit Heißluft und ist mit einer automatischen Zünderkennung ausgestattet. Die Verbrennungsluftführung erfolgt zweistufig über eine Primär- und Sekundärluftzufuhr. In Abbildung 3 ist die Muldenfeuerung schematisch und als Bild dargestellt.

Der Brennstoff wird über einen Trichter der Muldenfeuerung zugeführt und durch eine Stokerschnecke in den Brennraum eingetragen, die auch die Brennstoffzufuhr reguliert. Hierzu kann die Pulszeit der Schnecke, die den Zeitraum der Drehung definiert, und die Pausenzeit der Schnecke separat eingestellt werden. Bei der automatischen Entaschung sind die Puls- und Pausenzeit des Ascheschiebers ebenfalls frei einstellbar. Zur Staubmessung ist in die Rauchgasleitung eine Messstelle integriert. Die entstehende Wärme wird über einen Kühlkreislauf abgeführt, weiter ist eine separate Regulierung der Primär- und Sekundärluftzufuhr möglich.

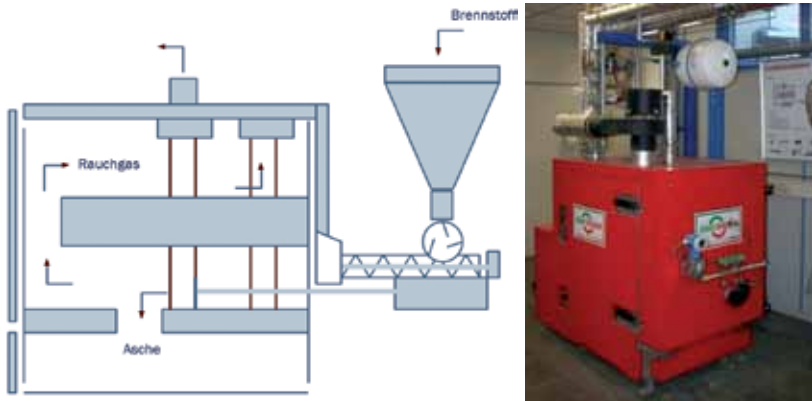


Abbildung 3: Verfahrenstechnisches Schema (links) und Bild (rechts) der Muldenfeuerung

Versuche mit Läuterbottichtreber

Neben der biologischen Verwertung der Flüssigphase war die thermische Verwertung der Festphase (Pressrückstand) ein zentraler Aspekt der Untersuchungen. Ziel war es, einen technischen Nachweis bezüglich der Eignung des Pressrückstands als Mono- und Mischbrennstoff unter Berücksichtigung emissionsrechtlicher Vorgaben zu erarbeiten.

Zur Überprüfung der thermischen Verwertbarkeit von entwässertem Birtreber als Monobrennstoff wurden zunächst Versuche mit einer Muldenfeuerung durchgeführt. Hier konnte aber kein stabiler Verbrennungsvorgang erreicht werden. Vielmehr bestätigte sich, dass bei TS-Werten von 45 % keine eigenständige Verbrennung von entwässertem Birtreber möglich ist. Da in den mechanischen Entwässerungsversuchen maximal TS-Gehalte von 49 bis 50 % erzielt werden konnten, ist somit der Einsatz von entwässertem Birtreber als Monobrennstoff ohne weitere thermische Trocknung nicht möglich.

Bei der Nutzung von entwässertem Birtreber als Mischbrennstoff stand die kombinierte Verbrennung mit Holzhackschnitzeln im Vordergrund. Dies resultierte daraus, dass bei der Realisierung von regenerativen Wärmebereitstellungskonzepten in Brauereien vornehmlich Holzhackschnitzel genutzt werden. Auch hier wurden die Versuche mit einer Muldenfeuerung durchgeführt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Ermittlung eines geeigneten Mischungsverhältnisses mit einem möglichst hohen Birtreberanteil unter Berücksichtigung emissionsrechtlicher Vorgaben. Zusätzlich erfolgten noch Versuche zur Emissionsminderung durch Primärmaßnahmen.

Dazu wurden vier ausführliche Versuchreihen (1)–(4) mit Läuterbottichtreber und zwei Versuchreihen (1)–(2) mit Maischefiltertreber durchgeführt. Im Folgenden wird exemplarisch der Versuch (4) mit Läuterbottichtreber ausgewertet, eine Zusammenfassung aller Ergebnisse folgt im Anschluss.

Versuch (4) wurde mit LBT aus der Produktion von hellem Weizenbier durchgeführt. Das Braumalz setzt sich bei dieser Biersorte aus Gersten- und Weizenmalz zusammen, die genauen Massenanteile waren jedoch nicht bekannt. Das eingestellte Massenverhältnis von Pressrückstand und Holzhackschnitzeln war analog zu Versuch (1) und (2) 50:50, Tabelle 2 zeigt die TS-Gehalte und Heizwerte der Brennstoffe.

Tabelle 2: Trockensubstanzgehalte und Heizwerte Versuch (4) - LBT

Substanz	Trockensubstanzgehalt [%]	Heizwert [MJ/kg]
Pressrückstand	50,6	8,9
Holzhackschnitzel	95,0	17,9
Gemisch	72,8	13,4

Der eingesetzte LBT konnte in diesem Versuch auf einen TS-Gehalt von 50,6 % entwässert werden. Anhand des Massenverhältnisses berechnete sich ein Heizwert von 13,4 MJ/kg bei einem TS-Gehalt von 72,8 % für das Brennstoffgemisch.

In diesem Versuch wurde neben dem Verbrennungsverhalten von Weizenbirtreber auch die Möglichkeit der NO_x -Reduzierung durch Absenkung der Verbrennungsluft untersucht. Abbildung 4 zeigt den Verlauf der CO -, SO_2 -, NO_x - und CO_2 -Emissionen.

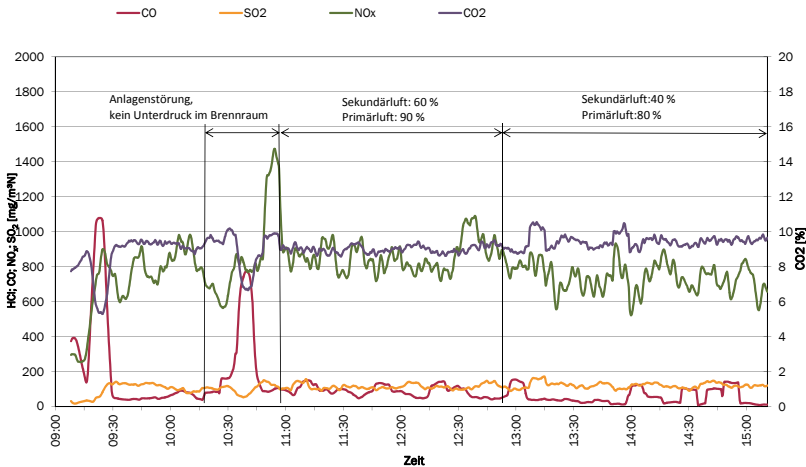


Abbildung 4: Verlauf der CO -, SO_2 -, NO_x - und CO_2 -Emissionen im Versuch (4) - LBT

In Tabelle 3 sind die Emissionsmittelwerte, bezogen auf 11 Vol.-% Sauerstoff im Rohgas (trocken), abgebildet. Die HCl- und NH_3 -Werte lagen auch hier unterhalb der Messtoleranz

Tabelle 3: Emissionswerte Versuch (4) - LBT

CO [mg/m ³ _N]	SO ₂ [mg/m ³ _N]	NO _x [mg/m ³ _N]	NO [mg/m ³ _N]	NO ₂ [mg/m ³ _N]	Gesamtstaub [mg/m ³ _N]
96,8	42,9	789	479	57,9	127,3

des Analysegerätes und wurden nicht berücksichtigt.

Die Ausschläge der CO- und NO_x-Werte im Bereich von 10:15 bis 11:00 Uhr waren durch eine Anlagenstörung bedingt und wurden bei der Bildung der Mittelwerte nicht berücksichtigt.

Erkennbar ist die geringe Schwankungsbreite der NO_x-Werte, was auf einen stabilen Verbrennungsverlauf hindeutet. Im Zeitraum von 11:00 bis 12:50 Uhr betrug die durchschnittlichen NO_x-Emissionen 857 mg/m³_N. Durch die Reduzierung der Primär- und Sekundärluft ab 12:50 Uhr konnte jedoch eine Absenkung der NO_x-Werte erzielt werden. Der Primärluftvolumenstrom wurde von 82,5 m³_N/h auf 76,2 m³_N/h und der Sekundärluftvolumenstrom von 36 auf 30 m³_N/h auf 30 m³_N/h abgesenkt. Dies hatte einen Rückgang der NO_x-Emissionen auf einen durchschnittlichen Wert von 734 mg/m³_N zur Folge. Es konnte gezeigt werden, dass durch Primärmaßnahmen die NO_x-Werte gesenkt werden können.

Mit Blick auf die CO-Konzentrationen wurden kaum CO-Spitzen beobachtet, da der Brennstoff eine gute Fließfähigkeit aufwies und nur selten eine Brückenbildung im Zuführtrichter auftrat. Insgesamt lässt der CO-Gehalt mit 96,8 mg/m³_N auf einen guten Ausbrand und ein stabiles Verbrennungsverhalten schließen.

Die SO₂-Konzentration lag bei 43 mg/m³. Zur Analyse der Staubkonzentration wurden zwei Messungen durchgeführt. Der gemessene Wert im Abgas lag mit 127,3 mg/m³_N über dem Grenzwert von 50 mg/m³_N.

Die Ascheproben wiesen verkohlte Rückstände der Holzhackschnitzel auf, vor dem Ascheschieber wurden ebenfalls unvollständig verbrannte Brennstoffagglomerationen gefunden.

Zusammenfassung thermische Verwertung

Bei der thermischen Verwertung des Pressrückstands zeigte sich, dass die Verwendung als Monobrennstoff mit TS-Gehalten von 45 % ohne weitere Trocknung nicht möglich ist. Beim Einsatz von LBT- und MFT-Pressrückstand als Mischbrennstoff mit Holzhackschnitzeln wurde in allen Versuchen ein stabiles Verbrennungsverhalten erreicht. Hinsichtlich der emissionsrechtlichen Vorgaben ergab sich jedoch ein differenziertes Bild. Im Fall der CO-Emissionen konnte der Grenzwert gemäß TA Luft von 250 mg/m³_N in jedem einzelnen Versuch eingehalten werden. Im Gegensatz dazu konnte aber bei den NO_x-Emissionen der Grenzwert von 500 mg/m³_N in keinem Versuch erreicht werden. Allerdings konnte in den Versuchen gezeigt werden, dass anhand einer gezielten Reduzierung der Verbrennungsluft die NO_x-Emissionen abgesenkt werden können. Bei den Staubemissionen wurde der Grenzwert von 50 mg/m³_N nur in den Versuchen mit MFT nicht überschritten, was aber auf den höheren Massenanteil der Holzhackschnitzel zurückgeführt wurde.

Abbildung 5 zeigt die Mittelwerte für CO, NO_x und Gesamtstaub aus den Feuerungsversuchen von LBT- und MFT-Pressrückstand mit Holzhackschnitzeln.

Ein wichtiger Aspekt in Bezug auf das Verbrennungs- und Emissionsverhalten war die eingesetzte Größenklasse der Holzhackschnitzel. Aufgrund der geringen Partikelgröße des

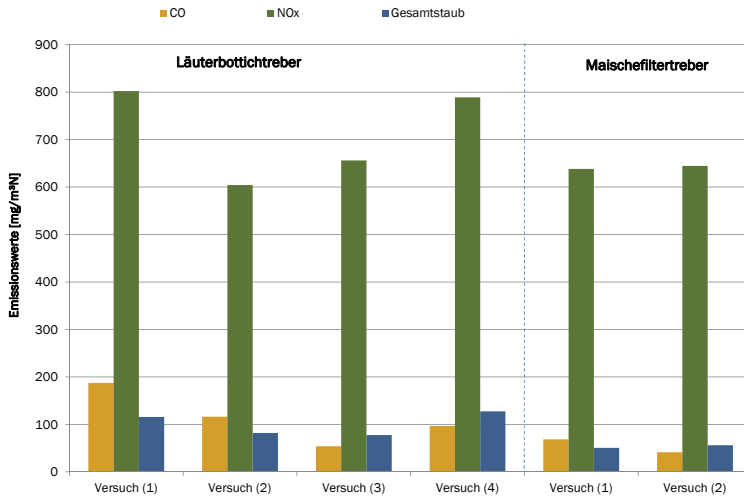


Abbildung 5: Beurteilung der Emissionen für die einzelnen Feuerungsversuche mit LBT und MFT

Pressrückstands kam es im Versuch (1) mit Holzhackschnitzeln der Größenklasse G50 zu starken Entmischungen bei der Beschickung der Feuerungsanlage. Durch eine weitere Zerkleinerung der Holzhackschnitzel konnte die Entmischung deutlich reduziert und das Fließverhalten verbessert werden. Durch diese Maßnahme konnte eine starke Reduzierung der CO- und NO_x-Spitzen erreicht werden.

In den Versuchen konnte auch gezeigt werden, dass die Aufbereitung des Braumalzes im Brauprozess keinen signifikanten Einfluss auf die verbrennungstechnischen Eigenschaften hatte. Dies konnte anhand von Versuch (3) mit LBT und Versuch (2) mit MFT nachgewiesen werden, da das Mischungsverhältnis mit Holzhackschnitzeln in beiden Versuchen identisch war. Sowohl der LBT als auch der MFT stammte hier aus der Erzeugung von hellem Vollbier. Mit Blick auf die Emissionswerte konnte aber faktisch kein Unterschied festgestellt werden. Vielmehr zeigte sich, dass die Zusammensetzung von LBT bei der Herstellung von hellem Weizenbier im Unterschied zu hellem Vollbier einen deutlich größeren Einfluss auf das Emissionsverhalten hatte. LBT aus Weizenbier besteht aus Gersten- und Weizenmalz, LBT aus hellem Vollbier hingegen nur aus Gerstenmalz. Beim Einsatz von LBT aus Weizenbier wurde ein höheres Niveau an NO_x- und Staubemissionen gemessen als bei LBT der nur aus Gerstenmalz besteht. Dieser Aspekt konnte anhand von Versuch (2) und (4) gut nachgestellt werden. In beiden Versuchen bestand das Brennstoffgemisch aus 50 % Pressrückstand und 50 % Holzhackschnitzeln, der TS-Gehalt des Pressrückstands war in beiden Fällen 50 %.

Beitrag zu den Nachhaltigkeitsaspekten

Mit den Ergebnissen wurde das potenzielle THG-Einsparpotenzial berechnet. Zur Bilanzierung wurde eine Brauerei mit einem Bierausstoß von 100.000 hl/a angesetzt. Zur Be-

rechnung wurden die Ergebnisse für die Entwässerung von LBT verwendet, der vor allem in kleineren und mittleren Brauereien anfällt. Hierzu wurden zwei Varianten berechnet, in Variante (1) wurde die Biertrebermenge zu 100 % energetisch verwertet, in Variante (2) lediglich zu 50 %. Damit wurde in Variante (2) berücksichtigt, dass weiterhin 50 % der Biertrebermenge auch als Futtermittel verwendet werden können.

Die THG-Einsparungen wurden separat für die thermische Verwertung des Pressrückstands berechnet und mit dem Referenzsystem Wärme verglichen.

Abbildung 6 zeigt die abgeschätzten THG-Einsparungen für Variante (1) und (2), aufgeteilt in thermische und biologische Verwertung, für den Pressrückstand und das Presswasser.

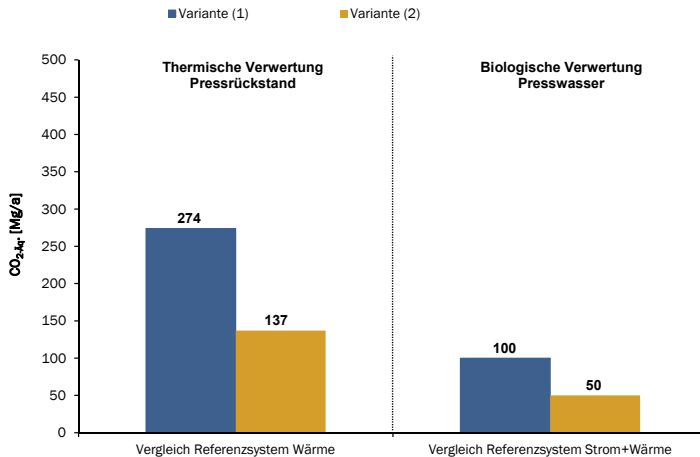


Abbildung 6: THG-Einsparpotenziale aufgeteilt in thermische und biologische Verwertung im Vergleich zum Referenzsystem

In Variante (1) ergab sich durch den Einsatz von Pressrückstand als Brennstoff ein Einsparpotenzial von 274 $\text{Mg}_{\text{CO}_2\text{-Äq.}}$ pro Jahr, für Variante (2) von 137 $\text{Mg}_{\text{CO}_2\text{-Äq.}}$ pro Jahr. Das THG-Einsparpotenzial bei der biologischen Verwertung des Presswassers wurde mit dem Referenzsystem Strom und Wärme verglichen. In Variante (1) wurde ein Einsparpotenzial von 100 $\text{Mg}_{\text{CO}_2\text{-Äq.}}$ pro Jahr und für Variante (2) von 50 $\text{Mg}_{\text{CO}_2\text{-Äq.}}$ pro Jahr berechnet.

Übertragbarkeit der Ergebnisse

Gelingt die Übertragung der erarbeiteten Erkenntnisse in die Praxis, ist Biertreber durch eine kombinierte Verbrennung und Vergärung energetisch sehr gut verwertbar. Um Zielkonflikte mit der Futtermittelindustrie zu vermeiden, ist im Vorfeld aber zu prüfen, ob ein wirtschaftlich tragfähiges Konzept realisierbar wäre, wenn nur ein Teil der Biertreber hierfür genutzt wird.

Eine erste Abschätzung wurde bereits durchgeführt. Es zeigte sich, dass beim Einsatz von

nur 50 % der anfallenden Biertrebermenge bei einer Brauerei mit 100.000 hl Bierausstoß pro Jahr, Wärmegestehungskosten von 69 €/MWh erreicht werden können. Setzt man im Vergleich dazu Kosten von 75 €/MWh beim Einsatz von Heizöl EL an, ist das Verfahrenskonzept eine wirtschaftliche Alternative. Die wirtschaftliche Umsetzung ist aber stark von einzelnen Faktoren abhängig. Dies betrifft zum Beispiel die erforderliche Anlagengröße der Biomassefeuerung oder die Kosten für eine Biogasanlage.

Der Einsatz von Biertrebern ist aber aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht nur sinnvoll, wenn noch weitere erneuerbare Energieträger wie Holzhackschnitzel eingesetzt werden. Die energetische Verwertung von Biertrebern ist daher Anreiz, Biomasse als Energieträger in Brauereien zu nutzen. Damit könnte die Wärmeversorgung einer Brauerei nahezu vollständig regenerativ erfolgen.

Derzeit wird das Konzept an einer Demonstrationsanlage am Standort der Schneider Brauerei umgesetzt. Die „Weisses Bräuhaus G. Schneider & Sohn GmbH“ verfügt bereits über eine Holzhackschnitzelheizung und hat großes Interesse an einer energetischen Verwertung des überschüssigen Biertreibers. Auch die infrastrukturellen Bedingungen am Standort der Brauerei eignen sich sehr gut, da das Trebersilo direkt neben der Holzhackschnitzelheizung angesiedelt ist.

Damit besteht zum ersten Mal die Möglichkeit, die Vergärung und Verbrennung von Biertreber zu kombinieren. Ein Teil der täglichen Biertrebermenge wird entwässert und in der bestehenden Biomassefeueungsanlage zusammen mit Holzhackschnitzeln verbrannt. Das Presswasser wird in einer Versuchs-Biogasanlage zusammen mit den Brauereiabwässern vergärt.

Bedenkt man, dass dabei auch das Klima durch Substitution fossiler Energieträger entlastet werden könnte, schmeckt das Bier gleich doppelt gut.



Literaturverzeichnis

- Becher, T.; Wüst, O.: Versuchsanlage zur thermischen Verwertung von Biertreber. In: Brauwelt Nr. 41-42, 2007, S. 1140-1143.
- Voigt, J.; Haeffner, B.; Schieder, D.; Ellenrieder, J.; Faulstich, M.: Biogas aus Reststoffen der Getränkeindustrie. In: Brauwelt Nr. 46, 2009, S. 1384-1388.
- Meyer-Pittroff, R.: Der Einsatz von Biertrebern zur Energiebereitstellung. In: Brauwelt 128, Nr. 26, 1988, S. 1156-1158.
- Möller, M.; Behmel, U.; Scharf, P.: Die Energieversorgung einer Brauerei mit Brauereireststoffen. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht, 1992.
- Russ, W.; Meyer-Pittroff, R.: Utilizing waste products from the food production and processing industries. In: Critical Reviews in Food Science and Nutrition 44 (2004), Nr. 1, S. 57-62.
- Herfellner, T.; Bochmann, G.; Meyer-Pittroff, R.: Wirtschaftlich sinnvolle Verfahren? Die Verwertung von Biertrebern – Derzeitiger Stand und neue Ansätze zur energetischen Nutzung. In: Brauindustrie 8, 2006, S. 42-45.
- Pesta, G.: Biogaserzeugung aus Biertrebern – die Neuerfindung des Rades? In: Brauwelt Nr. 37-38, 2008, S. 1086-1089.
- Pesta, G., Grasmug, M.: Biogas aus Biertrebern – 47% weniger Energiezukauf. In: Brauwelt Nr. 11, 2010, S. 318-320.
- Kepplinger, W.: Der Einsatz von Biertreber für die Energiebereitstellung in einem Brauereiverbund. In: Brauwelt Nr. 6, 2008, S. 120-125.

Ankündigung

Effizient, umweltverträglich, dezentral -
Neue Konzepte für die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen Teil II



Die Themen:

- Bio-SNG/HPR - Dezentrale Herstellung von synthetischem Erdgas (SNG) aus dem Produktgas eines allotherm betriebenen Biomasse-Vergasers
- PyRO - Untersuchungen zum Einfluss von Temperatur, Verweilzeit und Aufheizrate in der Pyrolyse auf die Bildung von Benzol und weiteren Teerverbindungen
- Heatpipe-Reformer - Optimierung regionaler Kreisläufe zur Bereitstellung biogener Brennstoffe für Energieerzeugungsanlagen am Beispiel Biomassehof Achtental
- Feinstaubemissionen aus biomassebefeuerten Kleinfeuerungsanlagen
- Torrefaction - Qualifizierung torrefizierter biogener Reststoffe für den Einsatz in Kraftwerksfeuerungen
- Pellet- μ KWK - Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsmodul bestehend aus schadstoffarmen Pelletbrenner und wartungsfreien Freikolben Stirlingmotor für Haushaltsanwendungen
- Emissionsminderung durch integrierte und kombinierte Maßnahmen in Biomasse-Kleinfeuerungen
- Entwicklung von emissionsarmen häuslichen Feuerstätten für feste Brennstoffe)
- Biokommunal - Aufbau eines bundesweiten kommunalen Bioenergie-Netzwerks und Mobilisierungsmaßnahmen für einen verstärkten Einsatz von Bioenergie in Kommunen
- Energieholz und Biodiversität - die Nutzung von Energieholz als Ansatz zur Erhaltung und Entwicklung national bedeutsamer Lebensräume



www.energetische-biomassenutzung.de

ISSN: 2192-1806

Gefördert vom



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Ein Förderprogramm der



DIE BMU
KLIMASCHUTZ-
INITIATIVE

Koordiniert vom



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Wissenschaftlich
begleitet vom

