

Gilbert Krapf, Straubing

Betriebserfahrung mit Biomasse-Heizwerken und kleinen Biomasse-Heizkraftwerken

Technik, Markt, Potenziale

Kurzfassung

In Deutschland wird Biomasse hauptsächlich in Heizwerken zur Wärmebereitstellung genutzt. Ein Biomasse-Heizwerk kann eine technisch machbare, wirtschaftlich tragfähige und ökologisch sinnvolle Alternative zu einer Wärmeversorgung mit Heizöl oder Erdgas sein. Voraussetzung ist eine sinnvolle Abnehmerstruktur. Nachdem im Jahr 2000 das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) in Deutschland eingeführt worden ist, wurden zudem mehrere große Biomasse(heiz)kraftwerke realisiert. Meist dienen diese Anlagen nur der Stromerzeugung; die Abwärme bleibt ungenutzt. Ein großes Interesse an Technologien zur dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) besteht in Deutschland für Anlagen im kleinen Leistungsbereich. Allerdings werden hierfür bis auf den Dampfkraftprozess mit Dampfmotor bislang keine technisch ausgereifte Lösungen angeboten. Neue Impulse erhofft man sich von innovativen Technologien wie dem ORC-Prozess, welche durch die geplante Novellierung des EEG noch besser unterstützt werden können. In den Heizwerken werden fast ausschließlich naturbelassene Holzhackschnitzel (Waldholz, Sägerestholz, Flurholz) als Brennstoff verwendet, in den großen Biomasse(heiz)kraftwerken ist es vorwiegend Altholz. Während das Potenzial der naturbelassenen Holzbrennstoffe in Deutschland noch sehr groß ist, zeichnet sich beim Altholz aufgrund der verstärkten Nachfrage der Biomasse(heiz)kraftwerke eine regionale Verknappung und ein Preisanstieg ab.

1. Einführung

In Deutschland wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Biomasse-Heizwerke und einzelne Heizkraftwerke realisiert. In Bild 1 sind die Anlagen dargestellt, die im Bundesland Bayern von C.A.R.M.E.N. betreut werden und mit Landesmitteln gefördert wurden. Auffallend groß ist die Anzahl der Heizwerke. Heizkraftwerke und Kraftwerke dahingegen wurden nur vereinzelt errichtet. Die Heizwerke und Heizkraftwerke versorgen z.B. Schulen, Krankenhäuser, Gemeindezentren, Ein- und Mehrfamilienhäuser, über ein Nah- oder Fernwärmenetz mit Wärme, oder sie dienen der Eigenversorgung. Auch bei der Mehrzahl der in Bild 1 dargestellten Stromerzeugungsanlagen wird die Abwärme genutzt. Der in den Heizkraftwerken erzeugte Strom wird in das Stromnetz des nächsten Energieversorgungsunternehmens eingespeist und entsprechend dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet.

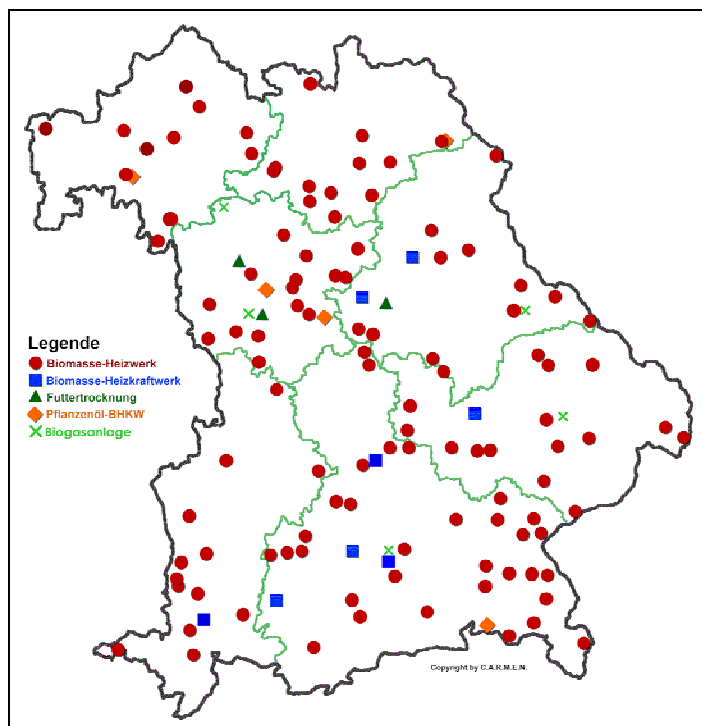


Bild 1: Biomasseheizwerke und –heizkraftwerke in Bayern

Als Brennstoff werden Holzhack- schnitzel verwendet. Stroh kommt in Bayern derzeit nicht zum Ein- satz. Aus Kostengründen handelt es sich bei den Holzbrennstoffen um Rest- und Abfallstoffe und nicht um speziell angebaute Ener- giepflanzen. Während die Heiz- kraftwerke den (noch) günstigen Brennstoff Altholz (Kategorien A1 bis A4) nutzen, arbeiten die Heiz- werke mit naturbelassenen Holz- brennstoffen. Dies erlaubt bei den Heizwerken eine Vereinfachung der Verbrennungs- und Rauchgas- reinigungstechnologie.

Eine Auswertung der Betriebsdaten der Heizwerke und Heizkraftwerke in Bayern hat gezeigt, dass derartige Anlagen in Deutschland aus technischen und aus ökonomischen Gründen nicht überall sinnvoll und machbar sind. [2] Biomasse-Heizwerke sind auf Standorte mit einer hohen Verbraucherdichte angewiesen. Die zu versorgenden Objekte sollten eine möglichst gleichmäßige Wärmeabnahme aufweisen. Heizkraftwerke dahingegen benötigen aufgrund ihrer hohen Volllaststundenzahlen einen möglichst günstigen Brennstoff und eine besonders sichere Brennstoffversorgung. Ausgereifte technische Lösungen werden für große Biomasse-Heizkraftwerke angeboten. Im Bereich der kleinen Anlagen gibt es derzeit nur wenige Technologien, die auch als marktreif und zuverlässig bezeichnet werden können. Kleine, dezentrale KWK-Anlagen hätten gegenüber Großanlagen jedoch den Vorteil, dass geringere Investitionen für die Anlage und für das Wärmenetz zu tätigen sind, die Suche nach einem geeigneten Standort (Akzeptanz, Wärmekunden) einfacher ist und die Brennstofflogistik überschaubarer werden könnte. Generell erhöht die Wärmenutzung den Gesamtwirkungsgrad und damit den gesamtökologischen Nutzen einer Stromerzeugungsanlage und sollte das erste Ziel jeder energetischen Biomassennutzung sein.

2. Biomasse-Heizwerke

2.1 Technologie

Die in Deutschland realisierten Biomasse-Heizwerke decken den Wärmebedarf von kommunalen und kirchlichen Einrichtungen, von Wohn- und Gewerbeobjekten sowie von Industriebetrieben vollständig und ganzjährig. Biomasse-Heizwerke bestehen aus einer Heizzentrale, in dem die für die Wärmeerzeugung erforderlichen technischen Anlagenteile (Heizkessel, Hydraulik, Mess-, Steuer und Regeltechnik) untergebracht sind, sowie aus einem Wärmenetz, über welches das Heizwasser an die einzelnen Wärmeverbraucher verteilt wird. Die Heizzentrale ist mit einem Brennstofflager verbunden, aus dem der Festbrennstoff (z.B. Holz hackschnitzel, Holzpellets, Strohballen) automatisch ausgetragen und der Feuerung des Feststoffheizkessels zugeführt wird. Zur Abdeckung von Schwach- und Spitzenlast ist zusätzlich ein mit Heizöl oder Erdgas befeuerter Heizkessel vorhanden.

2.2 Konzepte und Brennstoffversorgung

Die energetische Verwertung von Biomasse in Biomasse-Heizwerken ist – eine sinnvolle Abnehmerstruktur sowie eine sorgfältige Planung der Anlage vorausgesetzt – mit hohen Nutzungsgraden verbunden. Sinnvoll können Heizwerke vor allem dort sein, wo viel Wärme gleichmäßig und auf engstem Raum benötigt wird, so dass die Leitungswege kurz gehalten werden können und der Holzheizkessel möglichst gut ausgelastet ist. Bei den in Deutschland üblichen Rahmendaten kann als Kennwert eine Mindestwärmebelegung von 1,5 MWh pro Trassenmeter und Jahr angesetzt werden. Die Auslastung des Holzheizkessels sollte wenigstens 2.500 Vollbenutzungsstunden erreichen. Werden Neubauten versorgt, ist darauf zu achten, dass die Gebäude möglichst rasch realisiert werden und mit Fertigstellung des Biomasse-Heizwerkes auch die kalkulierten Wärmemengen vollständig abnehmen sollten.

Die Heizwerke werden üblicherweise von lokalen Betreibergesellschaften errichtet und betrieben. Häufig tritt z.B. eine Gemeinschaft aus Waldbesitzern als Energiedienstleister auf, die auch die Versorgung der Anlage mit Holzbrennstoffen und die Wartung der Holzheizkessel sowie die Ascheentsorgung übernimmt. Als Brennstoffe werden naturbelassene Holz hackschnitzel (Waldholz, Sägerestholz, Flurholz) verwendet, größtenteils aus der Region aus einem Einzugsradius von weniger als 20 km. Mit Schadstoffen belastetes Altholz spielt bei Heizwerken in Deutschland kaum eine Rolle. Um Altholz in Heizwerken nutzen zu können, wären erhebliche Mehrinvestitionen in die Verbrennungs- und Abgasreinigungstechnik zu tätigen. Diese Mehrinvestitionen lassen sich mit den erzielbaren Wärmepreisen (Durchschnittswerte: Industrie/Gewerbe um 30 €/MWh; Ein-/Mehrfamilienhaus um 80 €/MWh) nicht erwirtschaften. Nachdem bei Holzheizwerken die kapitalgebundenen Kosten in der Regel den größten Anteil an den Wärmegestehungskosten verursachen und die Brennstoffkosten

weniger ausschlaggebend sind, ist es bei diesen Anlagen durchaus möglich, die etwas teureren naturbelassenen Holzbrennstoffe mit Brennstoffpreisen um 15 €/MWh zu verwenden.

Ebenfalls sehr selten wird Stroh in den Biomasse-Heizwerken in Deutschland als Brennstoff genutzt. Gegenwärtig existieren lediglich zwei Strohheizwerke. Die folgenden Erfahrungen mit Stroh als Brennstoff konnten gesammelt werden:

- Stroh ist ein Brennstoff, der regional sehr unterschiedlich zur Verfügung steht und sich im Preis kaum von Holz unterscheidet. Die Strohqualitäten können erheblich schwanken und wirken sich u.a. auf die Lagereigenschaften, auf das Verbrennungsverhalten, auf den Heizwert und auf das Schadstoffemissionspotenzial aus. Eine Qualitätskontrolle ist erforderlich.
- Im Gegensatz zu Holzhackschnitzeln fällt Stroh nur einmal im Jahr an und muss dann relativ rasch vom Feld geborgen und eingelagert werden. Hierfür sind umfangreiche Lagerkapazitäten in der Nähe des Heizwerkes vorzuhalten. Holzhackschnitzel dahingegen können jederzeit und kurzfristig bereit gestellt werden. Wald und Sägewerk dienen dem Holzheizwerk prinzipiell als Brennstoffzwischenlager.
- Wenn die eingelagerten Strohmengen nicht ausreichen, um das Heizwerk bis zur nächsten Ernte betreiben zu können, muss teurer Ersatzbrennstoff (z.B. Heizöl) zugefeuert werden und die teure Strohheiztechnik wird nicht ausgelastet. Bei Holzheizwerken sind derartige Engpässe kaum bekannt.
- Aufgrund der geringen spezifischen Dichte von Stroh und des im Vergleich zur Holzverbrennung erhöhten Emissionspotenzials (z.B. Staub, Chlor), ist eine sehr aufwändige und kostenintensive Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnologie erforderlich.

2.3 Qualitätssicherung

Die vielfältigen Fehlplanungen, die in der Vergangenheit leider bei einigen Biomasse-Heizwerken in Deutschland, in Österreich sowie in der Schweiz festgestellt werden konnten, haben C.A.R.M.E.N. zusammen mit Partnern aus den genannten Nachbarländern bewogen, ein Qualitätsmanagementsystem für Holzheizwerke zu initiieren. Näheres hierzu ist im Internet unter www.qmholzheizwerke.de veröffentlicht.

3. Kleine Biomasse-Heizkraftwerke

3.1 Technologie

Eine Alternative zur reinen Wärmeerzeugung in Biomasse-Heizwerken kann die Stromerzeugung aus Biomasse in einem Biomasse-Heizkraftwerk in Kombination mit der Nutzung der dabei anfallenden Abwärme sein. Mit der gekoppelten Erzeugung von elektrischem Strom und Nutzwärme in einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage ist ein hohes Energieeinspar- und CO₂-Emissionsminderungspotential verbunden. [4]

	theoretische Untersuchungen	Laboranlage, Komponententests	Pilotanlage	Demonstrationsanlage	Marktreife
Dampfkraftprozess					
ORC-Prozess					
Stirlingmotor					
Heissgasturbine					
Vergasung (Motor)					
Vergasung (Gasturbine)					
Vergasung (Brennstoffzelle)					
Pflanzenölmotor					
Bioethanolmotor					
Methanolmotor					
Methanolbrennstoffzelle					
Biogasmotor					
Biogasbrennstoffzelle					

Bild 2: Entwicklungsstand

In Bild 2 ist ein Überblick über den Entwicklungsstand der einzelnen Technologien zur Stromerzeugung aus Biomasse wiedergegeben. Bild 3 zeigt deren erzielbare Wirkungsgrade, wobei die Maximalwerte für große Anlagen gelten und die Minimalwerte für Anlagen kleiner Leistung. [4] Es wird deutlich, dass die meisten Konzepte noch nicht marktverfügbar sind. Ausgereift und mit dem Brennstoff Biomasse erprobt ist lediglich der Dampfkraftprozess. Die Einsatzmöglichkeiten einer Dampfturbine beschränken sich auf den Leistungsbereich über 2 MW_{el}. Im kleinen Leistungsbereich bietet sich der Dampfkolbenmotor als wirtschaftliche Alternative an. Die ORC-Technologie befindet sich im Leistungsbereich unter 1 MW in der Erprobung. Von dieser Technologie erwartet man sich im Vergleich zum Dampfkolbenmotor u.a. Vorzüge im Teillastbetrieb (hoher Teillastwirkungsgrad), eine geringere spezifische Investition und reduzierte Personalkosten, wobei jedoch eine wärmegeführte Betriebsweise bei hohen Volllaststunden erforderlich ist. Noch nicht als marktreif zu bezeichnen sind die verschiedenen Vergasungstechnologien und der Stirlingmotor.

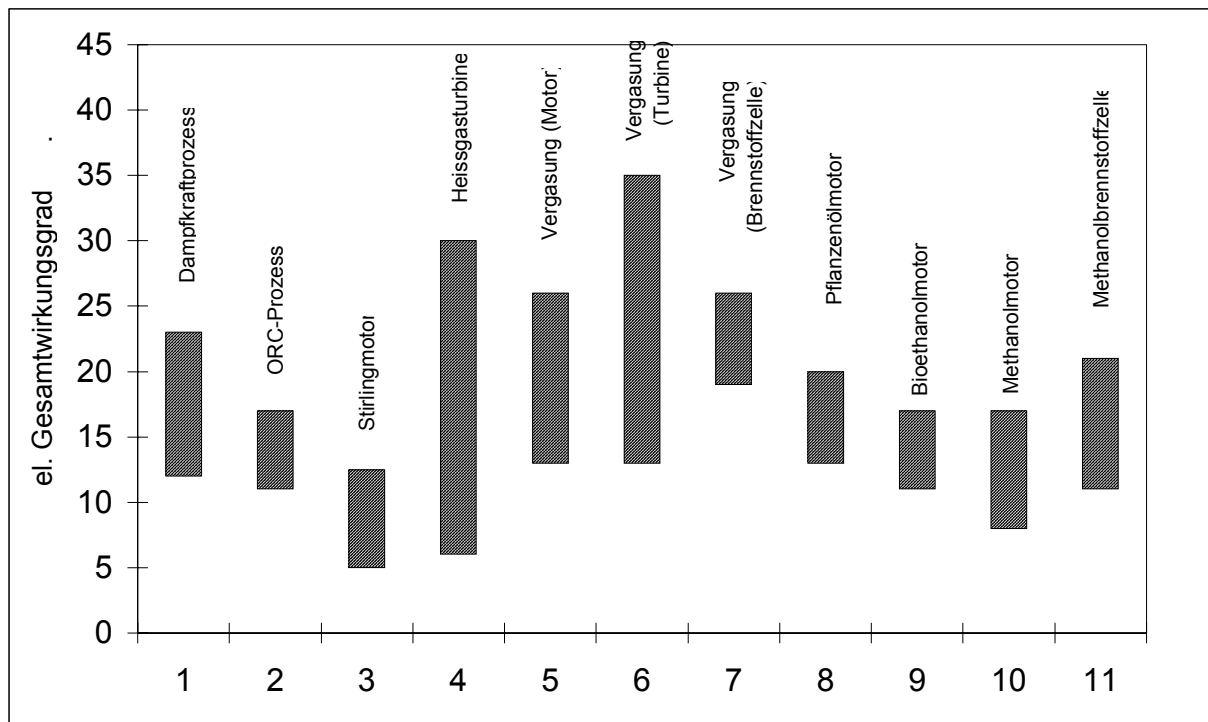


Bild 3: Erzielbare elektrische Systemwirkungsgrade (netto) der Technologien zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse

Nachdem es im kleinen Leistungsbereich an geeigneten Technologien zur effektiven Stromerzeugung mangelt, findet die Stromerzeugung mit Biomassefestbrennstoffen in Deutschland zur Zeit fast ohne Ausnahme in großen Kraftwerken statt. Die dabei anfallenden Abwärmemengen können kaum sinnvoll genutzt werden. Großabnehmer und/oder der Aufbau eines umfangreichen Wärmenetzes wären erforderlich, sind in vielen Fällen aber nicht zu organisieren und zu realisieren und nicht mit der Frage des Kraftwerksstandortes zu vereinbaren. Auf eine Abwärmenutzung wird daher bei Großanlagen meist vollständig verzichtet. Die Auslegung des Biomassekraftwerkes orientiert sich allein an den Vergütungssätzen des EEG. Der gesamtökologische Nutzen einer solchen Bioenergieanlage ohne Abwärmenutzung muss in Frage gestellt werden. Eine verstärkte Hinwendung zu kleinen dezentralen KWK-Konzepten wäre wünschenswert.

Dezentrale Anlagen lassen sich besser auf den jeweiligen Bedarf abstimmen, sind mit einem geringeren Aufwand für Brennstoffbereitstellung und Energieverteilung verbunden und erlauben außerdem eine Wertschöpfung in der Region. Voraussetzungen für einen erfolgreichen Betrieb dezentraler Biomasse-Heizkraftwerke sind

- eine möglichst hohe Auslastung der Anlage und ein wärmegeführter Betrieb (Jahresvolllaststunden > 5.000 h/a),

- eine möglichst hohe Verfügbarkeit (Standzeiten, Reisezeiten, Wartungsfreundlichkeit, Nutzungsgrade) und
- eine entsprechende Wärmeabnahme (Netzlänge, Investition).

Im Vergleich zum Biomasse-Heizwerk erhöht sich der Aufwand für Kundenakquisition und –betreuung, und es steigen die Brennstoffumsätze mit entsprechenden Auswirkungen auf Logistik, Lagerkapazität, Brennstoffbeschaffung und Brennstoffpreis.

3.1.1 Dampfkraftprozess

Mit dem Dampfkraftprozess steht eine bewährte Technologie für die Realisierung großer Stromerzeugungsanlagen zur Verfügung. Eine sorgfältige Planung und Ausführung vorausgesetzt, lassen sich zuverlässige Anlagen mit hoher Verfügbarkeit und guten elektrischen Wirkungsgraden realisieren. Stand der Technik ist der Dampfkraftprozess mit einer Dampfturbine im Leistungsbereich über 2 MW_{el}. Die erzielbaren elektrischen Wirkungsgrade liegen hier zwischen 20 und 25 % bei Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 20 MW. Für Leistungen unter 2 MW_{el} ist die Dampfturbine nicht geeignet; hier finden sich gelegentlich Anlagen mit einem Dampfmotor. Der Dampfkraftprozess ist mit hohen spezifischen Investitionen und mit hohen Betriebskosten verbunden. Die spezifische Investition ist um so größer, je kleiner die Leistung der Anlage ist. Umgekehrt steigt die Effizienz mit der Größe der Anlagenleistung.



Bild 4: Biomasse-Heizkraftwerk in Pfaffenhofen (Quelle: eta Energieberatung)

Als Beispiel sei das Biomasse-Heizkraftwerk in Pfaffenhofen (Bild 4) genannt. Es wurde im Jahr 2001 in Betrieb genommen und speist jährlich etwa 40.000 MWh elektrischen Strom in das Netz des regionalen Energieversorgers ein. Über ein etwa 16 km langes Wärmenetz werden jährlich etwa 120.000 MWh Wärme an rund 150 private, gewerbliche und kommunale Kunden abgegeben. Ein Biomassekessel (Vibrationsrost mit Wurfbeschickung) mit einer Feuerungswärmeleistung von 27 MW steht als Wärmeerzeuger zur Verfügung. Als Brennstoff werden vorwiegend Waldhackschnitzel und Sägewerksresthölzer sowie Grünschnitt

verwendet. Zwei mit Erdgas betriebene Spitzenlastkessel (Nennwärmeleistung 11 bzw. 21 MW) gewährleisten die Versorgung des Wärmenetzes bei Ausfall des Holzkessels und die Deckung des Spitzenbedarfs. Die Stromerzeugung im Biomasse-Heizkraftwerk Pfaffenhofen erfolgt mit einer Dampfturbine bei einer maximalen elektrischen Leistung von 6 MW (Dampfparameter: 60 bar, 450 °C). Die Investition in die Heizkraftwerksanlage ohne Wärmenetz und Grundstückskosten belief sich auf rund 25 Mio. €, also rund 4.200 € pro MW_{el}.

Im Vergleich zur Dampfturbine ist der Dampfkolbenmotor mit geringeren Wirkungsgraden und noch etwas höheren spezifischen Investitionen verbunden. Er hat jedoch auch einige Vorteile. Der Dampfkolbenmotor ist eine Weiterentwicklung der klassischen Dampfmaschine. Es handelt sich um ein System, das weitgehend unempfindlich gegen schwankende Dampfzustände ist, mit Sattedampf betrieben werden kann und auch im Teillastbetrieb noch zufriedenstellende Wirkungsgrade erlaubt.

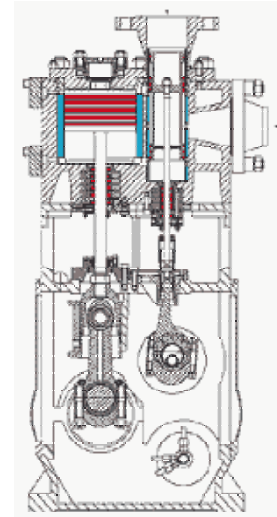


Bild 5: Dampfkolbenmotor (Spilling)

Die Anforderungen an die Speisewasseraufbereitung sind relativ gering. Die modular aufgebauten Dampfkolbenmotore verarbeiten Dampfmassenströme von 0,5 bis 40 t/h und werden mit Leistungen bis 1.500 kW je Aggregat angeboten. Seit 1998 wird der Motor ohne Ölschmierung des Motorkolbens ausgeliefert. Die spezifische Investition des Dampfkolbenmotors ist vergleichsweise hoch. Die erzielbaren elektrischen Wirkungsgrade liegen um 15 %.

Eine weitere mögliche Variante, die sich jedoch noch in der Entwicklung befindet, ist der Dampfschraubenmotor. Er ist prinzipiell als nass- oder als trockenlaufende Ausführung denkbar und kann im Gegensatz zur Dampfturbine und zum Dampfkolbenmotor auch bei großen Dampfmasse betrieben werden.

3.1.2 ORC-Prozess

Der ORC-Prozess - ORC steht für Organic Rankine Cycle - basiert wie der konventionelle Dampfkraftprozess auf dem Rankine-Prozess. Anstelle von Wasser wird jedoch ein organisches Arbeitsmedium verwendet, das geringere Siede- und Kondensationstemperaturen als Wasser aufweist. Bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Biomasse als Brennstoff ist dies meist Silikonöl. Der ORC-Prozess ist aus verschiedenen Anwendungsbereichen bekannt, insbesondere zur Nutzung von Abwärme aus Produktionsprozessen. In jüngerer Zeit wurde

er für die Nutzung von geothermischer Energie, von Solarenergie sowie zuletzt von Energie aus Biomasse weiterentwickelt.

Der ORC-Prozess ist ein typischer Nachschaltprozess. Er diente ursprünglich der Nutzung von Wärme, die auf einem niedrigen Temperatur- und Druckniveau anfällt. Ein Biomasseheizkessel jedoch stellt Wärme auf einem hohen Temperaturniveau zur Verfügung. Daher sind mit dem ORC-Prozess, wenn dieser Wärmeenergie aus einer Biomasseverbrennung nutzt, prinzipiell höhere Wirkungsgrade zu erzielen als bei der Nutzung von Erdwärme. Allerdings kann die Wärme aus der Biomasseverbrennung dem ORC-Prozess nicht direkt zugeführt werden. Um eine Zerstörung des organischen Arbeitsmittels zu verhindern, wird ein Thermoöl- oder Heißwasserkreislauf zwischen die Biomassefeuerungsanlage und den ORC-Prozess geschaltet, welcher die Wärmeenergie der Biomasseverbrennung in einem Verdampfer auf das organische Arbeitsmittel überträgt. Der Thermoölkreislauf verteuert die Anlage nicht unerheblich. Auch sind auf diese Weise die erreichbaren elektrischen Wirkungsgrade der Anlage begrenzt.

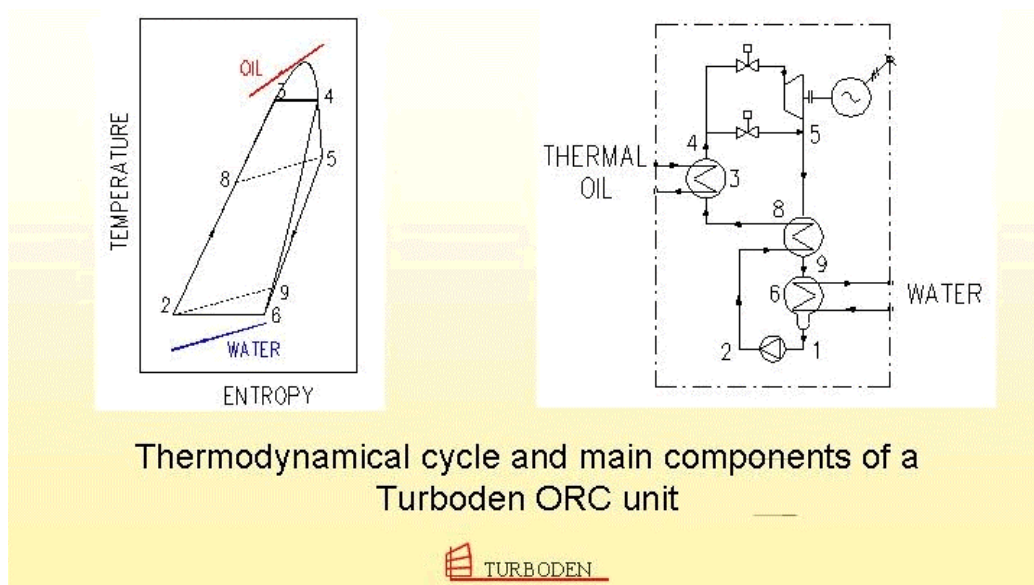


Bild 6: ORC-Prozess (Quelle: Turboden)

In Bild 6 ist der ORC-Prozess schematisch dargestellt. Durch die Verbrennung der Biomasse wird das Thermoöl auf eine Vorlauftemperatur von ca. 300 °C erwärmt, wobei ein praktisch druckloser Kesselbetrieb möglich ist. In einem Verdampfer (3-4) wird die Wärme des Thermoöls auf das organische Arbeitsmedium übertragen und das Arbeitsmedium verdampft. Mit dem Dampf (z.B. 250 °C, 20 bar) wird eine langsam laufende Axialturbine beaufschlagt (4-5), die direkt, ohne Zwischenschaltung eines Getriebes, mit dem Generator gekuppelt ist. Der Verlauf der Taulinie erlaubt einen Turbinenbetrieb ohne die Gefahr einer vorzeitigen Kon-

densation des Arbeitsmittels. Der entspannte Dampf wird einem Regenerator (5-9) und schließlich einem Kondensator (9-1) zugeführt. Die vom Kondensator abgeführte Wärme kann als Prozess- oder Fernwärme ausgekoppelt werden. Bei dem dargestellten System werden Vorwärmer, Verdampfer, Regenerator, Kondensator, Umwälzpumpe, Turbine und Generator anschlussfertig auf einem Rahmen montiert als ORC-Modul geliefert.

Der bei KWK-Anlagen wünschenswerte wärmegeführte Betrieb kann mit Hilfe des ORC-Prozesses bei relativ hohen Teillastwirkungsgraden im Bereich zwischen 10 und 100 % der Nennlast erfolgen. Die langsamlaufende, getriebelose Turbinen-Generator-Einheit ermöglicht hohe Verfügbarkeiten der Anlage und einen akzeptablen elektrischen Wirkungsgrad. Erwartet werden zunächst Wirkungsgrade um 17 % für den ORC-Prozess, wenn mit niedrigen Heißwasser-Vorlauftemperaturen am Austritt aus dem ORC-Kondensator gefahren wird. [1] Für die gesamte Anlage einschließlich Thermoölkreislauf liegen die erreichbaren elektrischen Wirkungsgrade bei etwa 13 %. Der Personalbedarf wird mit drei bis fünf Stunden pro Woche angesetzt und ist damit vergleichsweise gering; insbesondere entfällt der in Deutschland beim herkömmlichen Dampfkraftprozess übliche Dampfkesselwärter.



Bild 7: Heizkraftwerk Sauerlach mit Betriebsgebäude (links), Thermoölkessel (Mitte) und ORC-Modul (rechts) (Quelle: IB Gammel, Turboden)

Interessant ist der ORC-Prozess vor allem im Bereich zwischen 500 und 1.500 kW elektrischer Leistung. Für die Marktverhältnisse in Deutschland sollte die thermische Leistung der Biomassefeuerung nicht unter 1,3 MW liegen, die Biomassefeuerung sollte wenigstens 3.500 Vollbenutzungsstunden erreichen können. Die Stromgestehungskosten können dann zwischen 0,05 und 0,12 €/kWh_{el} liegen. [1] Auch die Nachrüstung bestehender Biomasseheizwerke ist prinzipiell möglich, wobei sich dann aber der Aufwand für die Brennstofflogistik deutlich erhöht und der stärkere Einfluss des Brennstoffpreises auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage berücksichtigt werden muss. In Deutschland ist ein Biomasseheizkraftwerk mit ORC-Prozess in Sauerlach bei München im Bau (Bild 7). Die elektrische Leistung der Anlage beträgt max. 530 kW, die Anschlussleistung der Wärmeabnehmer wurde mit 7,5 MW kalkuliert.

Als Wärmeerzeuger stehen zwei Holzhackschnitzelheizkessel mit 2 bzw. 3 MW_{th} sowie ein mit Pflanzenöl betriebener Spitzenlastbrenner von 4 MW_{th} zur Verfügung. Der Brennstoffbedarf liegt bei 6.000 t/a. An das Wärmeversorgungsnetz werden das Ortszentrum von Sauerlach, ein Industriegebiet, Wohnsiedlungen und kommunale Gebäude angeschlossen. Insgesamt werden etwa 16 km Fernwärmetrasse verlegt. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgte in 2002. Die Kosten einschließlich Fernwärmenetz belaufen sich auf rund 9 Mio. €.

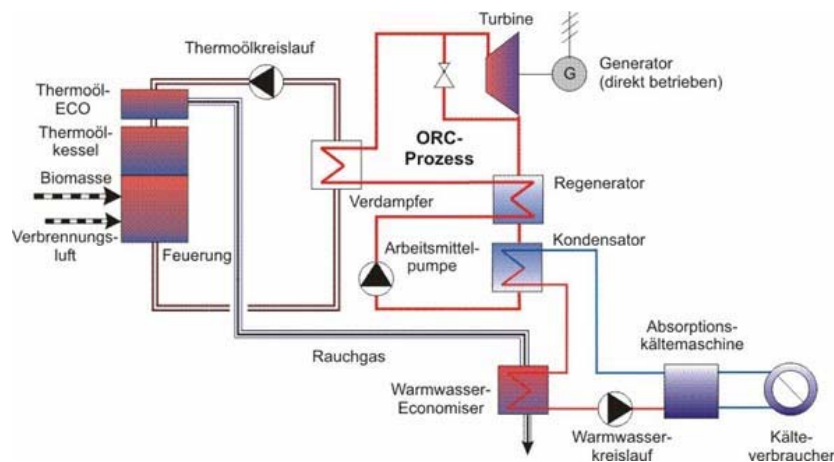


Bild 8: Biomasse-Heizkraftwerk mit ORC-Prozess (Quelle: Bios Bioenergiesysteme)

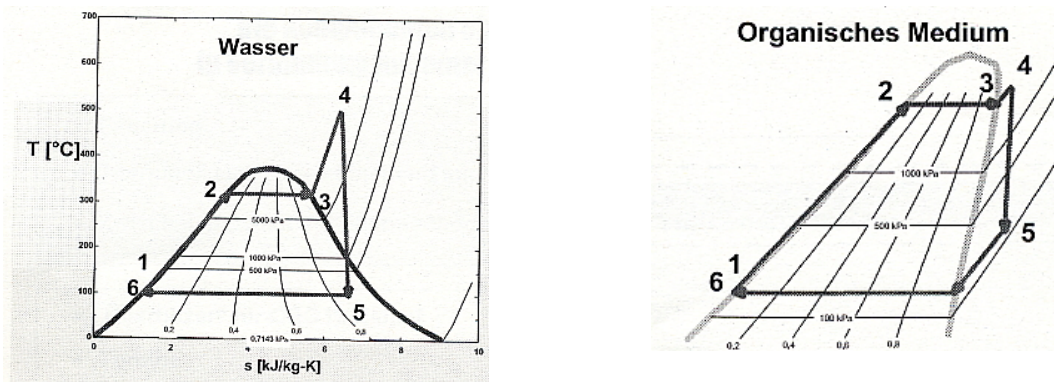


Bild 9: Vergleich T-s-Diagramm Wasser und organisches Arbeitsmedium (Quelle: ZAE)

Als eine weitere mögliche Alternative zum herkömmlichen Rankin-Prozess wird im Bereich der Geothermie der Kalina-Prozess erprobt. Dieser wird mit einem Zweistoffgemisch (z.B. Ammoniak-Wasser) als Arbeitsmedium betrieben. Verdampfung und Kondensation des Gemisches erfolgen nicht isotherm; durch Konzentrationsänderung des Gemisches wird eine Temperaturänderung bewirkt. Im Vergleich zum Rankin-Prozess erwartet man sich einen höheren Prozesswirkungsgrad. Für den Einsatz des Kalina-Prozesses zur Stromerzeugung aus Biomasse werden erste Voruntersuchungen durchgeführt.

3.1.3 Stirlingprozess

Im Gegensatz zum ORC-Prozess handelt es sich beim Stirlingprozess um einen Vorschaltprozess. Im Abgasstrom der Biomasseverbrennung, unmittelbar nach dem Feuerraum, ist der Erhitzer-Wärmeübertrager eines Stirlingmotors installiert. Nach dem Wärmeübertrager für den Stirlingmotor folgt der Wärmeübertrager für die weitere Wärmenutzung, z.B. zur Versorgung eines Nah- oder Fernwärmenetzes.

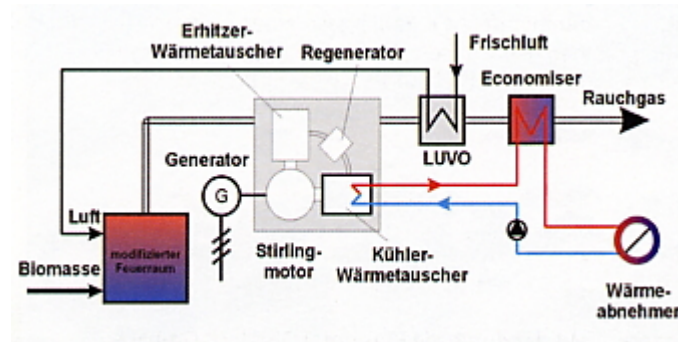


Bild 10: Einbindung eines Stirling-Motors (Quelle: Mawera)

Der Stirlingmotor ist ein Heißgasmotor, dessen Funktionsprinzip auf der Volumenänderungsarbeit eines Gases bei Temperaturänderung beruht. Durch das hin- und herbewegen des Arbeitsgases (Helium) zwischen einem Raum konstant hoher Temperatur (erhitzter Arbeitszylinder) und einem Raum konstant niedriger Temperatur (gekühlter Kompressionszylinder) wird eine periodische Temperaturänderung und damit ein kontinuierlicher Betrieb des Motors erzielt. Die Wärmeenergie der Biomasseverbrennung wird über den Erhitzer-Wärmeübertrager auf den Arbeitszylinder übertragen. Über einen Kühler-Wärmetauscher wird die Wärme aus dem Kompressionszylinder z.B. an das Nah- oder Fernwärmenetz abgegeben. Der Stirlingprozess ist damit auch abhängig vom nachgeschalteten Nutzungsprozess, also z.B. vom Betrieb des Nah- oder Fernwärmenetzes.



Bild 11: Stirling-Motor (Quelle: C.A.R.M.E.N., Mawera)

Der Erhitzer-Wärmeübertrager ist einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt. Er liegt im Abgasstrom, so dass sich auf ihm Asche ablagert, welche die Wärmeübertragung vermindert und korrosiv wirken kann. Wegen des meist sehr filigranen Aufbaus des Erhitzer-Wärmeübertragers ist die Abreinigung sehr schwierig. Erste Erfahrungen aus dem Betrieb von Versuchs- und Pilotanlagen haben gezeigt, dass Maßnahmen zur Reduzierung des Partikelgehalts im Rohgas das Betriebsverhalten der Stirlingmotore verbessern können (z.B. Holzbrennstoffe besonders guter Qualität, möglichst rindenfreier Holzbrennstoff, geeignete Verbrennungsluftführung, Brennraumgeometrie). Außerdem ist eine regelmäßige mechanische Reinigung des Wärmetauschers erforderlich, unterstützt von einer automatisierten Abreinigung z.B. mittels Luftdruck.

Die auf dem Markt verfügbaren Stirlingmotore weisen leider noch keine sehr hohen Verfügbarkeiten auf. Einige Fabrikate bereiten erhebliche mechanische Probleme (z.B. Dichtung, Massenschwingungen). Stirlingmotore zur Stromerzeugung aus Biomasse werden mit elektrischen Leistungen zwischen 10 und 40 kW angeboten, vereinzelt auch darüber. Die bei einem Betrieb mit einer Biomassefeuerung erzielbaren elektrischen Wirkungsgrade der Stirlingmotore liegen derzeit um 10 %.

Im größeren Leistungsbereich ist anstelle des Stirlingmotors z.B. eine Heißluftturbine oder eine geschlossene Gasturbine (indirekter Gasturbinenprozess) denkbar. Auch bei diesen Anlagen zählt insbesondere der Hochtemperatur-Wärmübertrager zu den kritischen Bauteilen, die noch der weiteren Erforschung und intensiver Verbesserungen bedürfen.

3.1.4 Vergasung

Ziel der Biomassevergasung ist die Umwandlung eines festen Energieträgers in einen gasförmigen Energieträger zur Wärmegewinnung und/oder Stromerzeugung. Die folgenden Verfahren der Gaserzeugung (Reaktortypen), geordnet von Anlagen kleiner Brennstoffwärmeleistung zu Anlagen großer Leistung, sind möglich:

- Festbettvergaser (Gleich- oder Gegenstromvergasung),
- Wirbelschichtvergaser (stationäre oder zirkulierende Wirbelschicht),
- Flugstromvergaser.

Die Qualität des erzeugten Produktgases hängt u.a. ab von der Gaszusammensetzung, vom Anteil kondensierbarer organischer Bestandteile sowie vom Partikelgehalt (Grob-, Feinpartikel). In der Regel ist für die weitere Nutzung des Produktgases der Einsatz einer geeigneten Gasreinigungstechnik erforderlich. Eine Nutzung des Gases ist zur Wärmebereitstellung und in Gasmotoren oder Gasturbinen möglich. Zuverlässige und wirtschaftliche Anlagen zur mo-

torischen Gasnutzung werden derzeit noch nicht angeboten; die Forschung konzentriert sich zunächst auf die Erzeugung eines geeigneten Produktgases.

3.2 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Eine wesentliche Basis für die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung mit Holzbrennstoffen bietet in Deutschland das Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz, kurz EEG) vom 29.03.2000, zuletzt geändert am 16.07.2003. Eine Neuregelung des Gesetzes befindet sich in der Abstimmung. Für den Bereich der Holzfestbrennstoffe sind aus dem vorliegenden Entwurf vom 05.11.2003 insbesondere die folgenden Punkte von Bedeutung:

- Für Strom aus Biomasse, der in Anlagen mit einer Leistung bis einschließlich 20 MW gewonnen wird, beträgt die Vergütung entsprechend dem Entwurf
 - bis 150 kW mindestens 11,5 ct/kWh,
 - bis 500 kW mindestens 9,9 ct/kWh,
 - bis 5 MW mindestens 8,9 ct/kWh und
 - über 5 MW mindestens 8,4 ct/kWh.

Wird Altholz der Klassen A3 und A4 als Brennstoff verwendet, reduziert sich die Vergütung auf 3,9 ct/kWh.

- Die Mindestvergütungen erhöhen sich um jeweils 2,5 ct/kWh, u.a. wenn der Strom ausschließlich aus Pflanzen(bestandteilen) gewonnen wird, die keiner weiteren als der zu ihrer Ernte, Konservierung oder Nutzung in der Biomasseanlage erfolgten Aufbereitung oder Veränderung unterzogen wurden.
- Die Mindestvergütungen erhöhen sich bei Anlagen bis 5 MW um jeweils 1,0 ct/kWh, wenn die Biomasse durch thermochemische Vergasung umgewandelt oder der Strom mittels Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmaschinen, Organic-Rankine-Anlagen (ORC-Anlagen), Kalina-Cycle-Anlagen oder Stirling-Motoren gewonnen wird.
- Die Mindestvergütungen werden beginnend mit dem 01.01.2005 jährlich jeweils für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils zwei Prozent des Vorjahreswertes gesenkt auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet.
- Die Mindestvergütungen dürfen für Strom, der in Anlagen erzeugt wird, die ab dem 01.01.2006 in Betrieb genommen werden, nur in Anspruch genommen werden, wenn auch für Zwecke der Zünd- und Stützfeuerungen ausschließlich Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung oder Pflanzenölmethylester eingesetzt wird.

In der Biomasseverordnung (BiomasseV) ist festgelegt, welche Stoffe als Biomasse im Sinne der Vorschrift gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung angewandt werden dürfen und welche Umweltauflagen dabei einzuhalten sind.

Die geplante Novellierung des EEG kann die Stromerzeugung aus Biomasse in Deutschland möglicherweise in eine neue Richtung lenken. Die Vergütungssätze für naturbelassene Biomassen werden unter Umständen deutlich attraktiver im Vergleich zur Verwendung von Altholz. Mit ihrem vorgesehenen Bonussystem kann die Novellierung besonders den Einsatz innovativer Technologien im kleinen Leistungsbereich und die Kraft-Wärme-Kopplung unterstützen.

3.3 Konzepte und Brennstoffversorgung

Das EEG hat die Rahmenbedingungen für eine Energiegewinnung aus Holz in Deutschland weiter verbessert. Studien gehen davon aus, dass etwa 80 Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomassefestbrennstoffen im Zusammenhang mit dem EEG entstehen werden. Ein Großteil dieser Anlagen ist bereits gebaut und zum Teil auch im Betrieb. In mehreren Fällen handelt es sich um umgerüstete Altanlagen, z.B. ehemalige Müllverbrennungsanlagen oder Braunkohlekraftwerke. Neue Biomasse(heiz)kraftwerke wurden und werden aber auch im Umgriff von Holz be- und verarbeitenden Betrieben errichtet, meist direkt auf dem Firmengelände des Holzverarbeiters. Der Betrieb tritt als Investor und Brennstofflieferant auf. In günstigen Fällen kann die Abwärme im eigenen Produktionsprozess genutzt oder über ein Nah-/Fernwärmenetz an Kunden in der Nähe des Heizkraftwerkes abgegeben werden.

Auch außerhalb der Holzindustrie, an einem Standort mit geeigneter Abnehmerstruktur, wurden bereits einige Biomasse-Heizkraftwerke realisiert. In solchen Fällen muss eine umfangreiche Brennstofflogistik aufgebaut werden, die in der Lage ist, die Brennstoffversorgung des Heizkraftwerkes langfristig zu sichern. Grundlage des Logistikkonzepts ist eine sorgfältige Analyse des Biomasseaufkommens in der Region. Zur Feststellung der Beschaffungssituation werden Quellen und Senken sowie die zur Verfügung stehenden Holzqualitäten ermittelt. Das Brennstoffbeschaffungskonzept ist auch eine entscheidende Grundlage für die Projektfinanzierung durch Kreditinstitute, nachdem aufgrund der steigenden Zahl an Biomasse(heiz)kraftwerken mit einer regionalen Verknappung günstiger Brennstoffsportimente und mit Preisanstiegen zu rechnen ist.

Biomasse(heiz)kraftwerke sind auf möglichst kostengünstige Brennstoffe angewiesen. Im Gegensatz zu den Biomasse-Heizwerken übt bei Heizkraftwerken der Brennstoffpreis einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage aus. Die Genehmigung der Anlage erfolgt in der Regel nach der 17. BImSchV, um ein breites Brennstoffband einzusetzen zu

können. Ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor ist die Aufbereitung der Holzbrennstoffe: Sortierung, Ausschleusung von Fremdstoffen, Zerkleinerung und erforderlichenfalls Trocknung müssen ganzjährig und unabhängig von der jahreszeitlich schwankenden Nachfrage erfolgen können. Im Gegensatz zu Wald- und Sägerestholz ist Altholz zwar relativ preisgünstig und in großen Mengen sowie mit besonders geringem Wassergehalt zu beziehen, jedoch ist Altholz oft auch stark mit Fremdstoffen verunreinigt. Eine möglichst sortenreine Erfassung und eine dem Verbrennungsprozess vorgeschaltete bedarfsabhängige Mischung kann sinnvoll sein.

Um Risiken in der Brennstoffbeschaffung abzufedern, versuchen sich die Kraftwerksbetreiber möglichst langfristig vertraglich an einen erfahrenen Partner aus der Entsorgungsbranche zu binden. Eine Preisfixierung ist jedoch schwierig. Häufig kann der üblichen Marktdynamik folgend lediglich ein Übereinkommen mit Mengengarantien geschlossen werden. Die entsprechenden Vertragswerke umfassen neben der Brennstofflieferung meist auch die Aufbereitung am Kraftwerksstandort. Schnittstelle des Vertrages ist das Brennstofflager (Lagerplatz oder Silo). Die Lieferung der Holzbrennstoffe erfolgt mit dem LKW, per Bahn oder mit dem Schiff.

Entwicklung, technische Planung und Abwicklung des Projekts Biomasse(heiz)kraftwerk sowie der spätere Betrieb der Anlage liegen im Idealfall in den Händen eines mit großen Energieerzeugungsanlagen erfahrenen Unternehmens. Der technische Anlagenbau erfolgt durch einen Generalunternehmer. Die Größe der Kraftwerksleistung orientiert sich im Regelfall an den Vergütungsgrenzen des EEG (obere Leistungsgrenze: 20 MW installierte elektrische Leistung). Häufig wird zugunsten eines optimalen Standortes und einer maximalen Stromproduktion sowie geringen Investitionen auf eine Wärmenutzung verzichtet.

Sollte die Novellierung des EEG wie geplant in Kraft treten, könnte das Interesse an kleineren dezentralen Lösungen weiter steigen. Je nach Kalkulation des Projekts kann der Einsatz von naturbelassenen Biomassefestbrennstoffen oder von Altholz in Frage kommen.

4 Literatur

- [1] Bini, R.; Hammerschmid, A.; Obernberger, I.: Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen auf Basis des ORC-Prozesses. EU-Thermie-Projekt Admont
- [2] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Evaluierung bestehender Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis Biomasse; Straubing 2001
- [3] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Rohstoffe – regenerativ und rentabel; Würzburg 2002
- [4] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Energetische Nutzung von

Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung. Gölzower Fachgespräche; Gölzow 1999

[5] Marutzky, R.; Seeger, K. (Hrsg.): Energie aus Holz und anderer Biomasse.

Grundlagen, Technik, Entsorgung, Recht; Leinfelden-Echterdingen: DRW, 1999