

# STROM AUS FESTER BIOMASSE – STAND DER TECHNIK UND KÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

*I. Obernberger, A. Hammerschmid, P. Thonhofer, F. Biedermann*  
*BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH*  
*Inffeldgasse 21b, A-8010 Graz, Austria*  
*Phone: +43 (316) 481300 Fax: +43 (316) 481300 4*  
*Email: obernberger@bios-bioenergy.at*

## Kurzfassung

Neue Technologien zur Stromerzeugung aus fester Biomasse wurden in den letzten zehn Jahren intensiv entwickelt. Weiters wurden neue Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien für verschiedene Anwendungsbereiche auch demonstriert und in den Markt eingeführt. Sie stellen eine wichtige Grundlage für den zukünftigen verstärkten Einsatz von fester Biomasse zur Stromerzeugung und somit zur Erreichung der EU-weiten Zielsetzung zur verstärkten Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energieträgern dar.

Auf drei neue Technologien zur Stromerzeugung aus fester Biomasse, die für die zukünftige Anwendung besonders interessant erscheinen, wird in dieser Arbeit genauer eingegangen. Es sind dies der Stirlingmotor, der Organic Rankine Cycle(ORC)-Prozess und ein Wirbelschicht-Dampfvergasungsprozess mit nachgeschaltetem Gasmotor.

Der Stirlingmotorprozess eignet sich besonders für Kleinanlagen mit elektrischen Nennleistungen unter 100 kW<sub>el</sub>. Er wurde in den letzten Jahren im Zuge einer dänisch-österreichischen Kooperation so weit entwickelt, dass eine erste in Österreich realisierte Pilotanlage (35 kW<sub>el</sub>) bereits mehr als 10.000 Betriebsstunden erreicht hat. Für das Jahr 2005 ist eine erste Kleinserienproduktion (10 Stück) vorgesehen.

Die Organic Rankine Cycle(ORC)-Technologie wurde 1999 EU-weit erstmals erfolgreich für Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen eingesetzt und hat sich in der Zwischenzeit bereits zu einer marktreifen Technologie entwickelt. Sie ist insbesondere für den Leistungsbereich zwischen 200 und 1.500 kW<sub>el</sub> von Interesse. Mit Ende 2004 waren in Österreich, Italien, Deutschland und der Schweiz bereits rund 20 Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf ORC-Basis in Betrieb.

Für Anlagen mit elektrischen Nennleistungen größer 2 MW<sub>el</sub> kommen insbesondere Dampfturbinen zum Einsatz. Diese Technologie ist marktreif und in einer Vielzahl von Anlagen weltweit eingesetzt. Zukünftig kann für diesen Leistungsbereich auch eine neu entwickelte Wirbelschicht-Dampfvergasungstechnologie mit nachgeschaltetem Dampfmotor interessant werden. Eine erste derartige Anlage mit einer elektrischen Nennleistung von 2,5 MW<sub>el</sub> ist seit 2001 als Demonstrationsanlage in Güssing (A) in Betrieb und konnte im Jahr 2004 bereits rund 5.500 Vollaststunden erreichen.

Die Stromerzeugungskosten für Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit elektrischen Nennleistungen bis 10 MW liegen in Abhängigkeit der Anlagengröße und des eingesetzten Brennstoffes zwischen 9 und 18 cent / kWh<sub>el</sub>. Ein wirtschaftlich sinnvoller Betrieb von Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erfordert daher langfristig gesicherte Einspeisetarife für Ökostrom in akzeptabler Höhe. Nur wenn diese wirtschaftliche Grundvoraussetzung erfüllt ist, können sich entsprechende Anlagentechnologien entwickeln, in den Markt eingeführt und schrittweise technisch und wirtschaftlich optimiert werden.

Weitere wichtige Rahmenbedingungen für den Einsatz von Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sind die Absicherung des erforderlichen Brennstoffes über langfristige Liefervereinbarungen zu definierten Preisen sowie eine Standortwahl und Anlagenauslegung, die auch eine weitgehende Nutzung der anfallenden Wärme ermöglicht. Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sollten aus ökologischer und ökonomischer Sicht Jahresnutzungsgrade (= Summe aus erzeugtem Strom + nutzbarer Wärme / eingesetzte Brennstoffenergie (bezogen auf [H<sub>u</sub>])) von zumindest größer 60% und idealerweise über 80% erreichen.

## Einleitung und Definitionen

Kraft-Wärme-Kopplungs(KWK)-Technologien auf Basis Biomasse wurden in den letzten Jahren intensiv weiterentwickelt und haben im Bereich der Anlagenrealisierung einen großen Aufschwung erlebt. Insbesondere im Leistungsbereich bis etwa 2 MW<sub>el</sub> wurden neue Technologien entwickelt bzw. verbessert, die sich für den Einsatz in Biomasse-KWK-Anlagen als sehr erfolgversprechend erwiesen haben. Derartige Anlagen sollten überwiegend wärmegeführt betrieben werden, um hohe Gesamtwirkungsgrade zu erreichen und den eingesetzten Biomasse-Brennstoff möglichst gut zu nutzen. Weiters weisen Biomasse-KWK-Anlagen durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern ein großes CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial auf und sollten aufgrund der relativ niedrigen Energiedichte von Biomasse-Brennstoffen vorwiegend dezentral eingesetzt werden.

Laut der Direktive der Europäischen Kommission zur Forcierung der Elektrizitätsproduktion aus erneuerbaren Energieträgern (RES-E directive) sollten bis zum Jahr 2010 21 % des elektrischen Stromproduktion mit erneuerbaren Energieträgern erfolgen (Stand im Jahr 2001: 15,2 %) [1]. Auf Basis dieser Direktive haben die einzelnen Mitgliedsländer nationale Ziele definiert. Abbildung 1 stellt die Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern in den einzelnen Staaten im Jahr 1997 bzw. 2000 im Vergleich mit den entsprechenden Zielen für das Jahr 2010 dar.

Wesentlich zur Erreichung dieser Ziele ist es jedoch, dass zur Realisierung, Markteinführung und Weiterentwicklung von KWK-Technologien auf Basis fester biogener Brennstoffe auch entsprechende wirtschaftliche Rahmenbedingungen gegeben sein müssen. Die Stromeinspeisetarife sollten dabei an den eingesetzten Brennstoff sowie die Größe der Anlagen vernünftig angepasst sein. Weiters ist es wesentlich, dass sowohl die Einspeisetarife als auch die Ökostromverordnungen selbst über einen längeren Zeitraum (zumindest 10 Jahre) Gültigkeit haben sollten, da ansonsten nicht genügend Zeit zur Verfügung steht sinnvolle Technologieentwicklungen, Demonstrationsprojekte sowie die Vermarktung neuer und innovativer Biomasse-KWK-Technologien durchzuführen und Projekte wirtschaftlich zu betreiben.

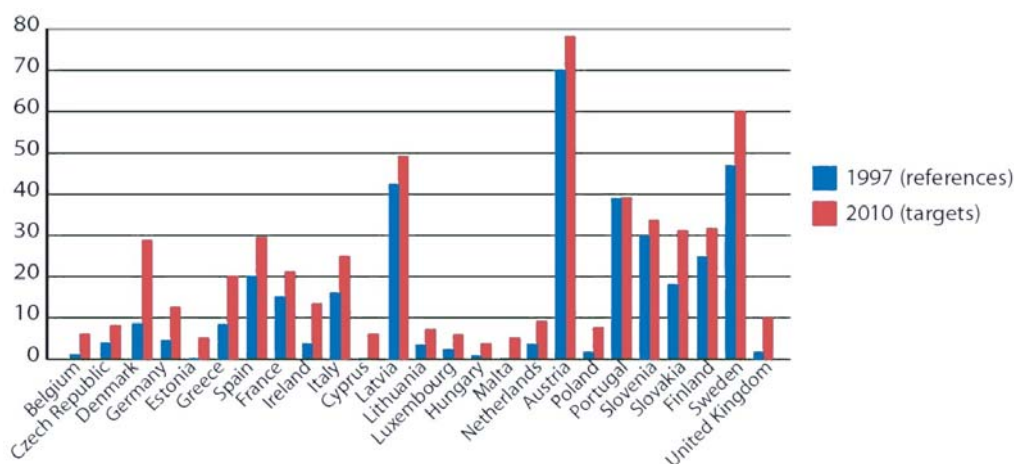


Abbildung 1: Zielsetzungen bezüglich Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern in der EU bis zum Jahr 2010

Erläuterungen: Anteil von Strom aus erneuerbaren Energieträgern an der Bruttostromproduktion der Mitgliedsstaaten; Referenzjahr für die 10 neuen Mitgliedsstaaten ist das Jahr 2000.

Für die Stromproduktion aus fester Biomasse stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung. Auf Basis Biomasse-Verbrennung sind das der Stirlingmotorprozess, der Dampfkolbenmotorprozess, der Dampfschraubenmotorprozess, der ORC-Prozess und der Dampfturbinenprozess.

Technologien auf Basis Biomasse-Vergasung haben derzeit noch keine Marktreife erlangt, es gibt aber einige interessante Demonstrationsprojekte im Bereich der Vergasung mit nachgeschaltetem Gasmotor bzw. mit nachgeschalteter Gasturbine.

Laut derzeitigem Stand der Technik und Entwicklung eignen sich Biomasse-KWK-Anlagen für verschiedene Leistungsbereiche, wobei folgende Einteilung getroffen werden kann:

- ◆ Anlagen für den kleinen Leistungsbereich (bis 100 kW<sub>el</sub>). Für diesen Leistungsbereich eignet sich primär der Stirlingmotorprozess, der bereits erfolgreich im Rahmen erster Pilotprojekte eingesetzt und getestet wird.
- ◆ Anlagen im mittleren Leistungsbereich (von 200 – 2.000 kW<sub>el</sub>). Verfügbare Technologien sind der ORC-Prozess, Dampfmotorprozesse und der Dampfturbinenprozess.
- ◆ Anlagen im großen Leistungsbereich (Anlagen größer 2.000 kW<sub>el</sub>): In diesem Leistungsbereich werden vor allem Anlagen auf Basis des Dampfturbinenprozess realisiert. Zukünftig könnte in diesem Leistungsbereich auch die Biomassevergasung eine Rolle spielen.

Im Folgenden werden für die verschiedenen Leistungsbereiche besonders interessant erscheinende Technologien, die bereits Marktreife erlangt haben bzw. sich im Demonstrationsstadium befinden, vorgestellt und diskutiert.

## Biomasse-KWK-Technologien im kleinen Leistungsbereich – der Stirlingmotorprozess

Die KWK-Technologie auf Basis Stirlingmotor stellt eine erfolgversprechende Anwendung im Bereich der Stromerzeugung aus fester Biomasse für Leistungen unter 100 kW<sub>el</sub> dar. Gerade in diesem Leistungsbereich ist derzeit keine ausgereifte Technologie am Markt verfügbar. Im Rahmen einer Forschungs- und Entwicklungskooperation der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH, der MAWERA Holzfeuerungsanlagen GesmbH, der Austrian Bioenergy Centre GmbH und der Technischen Universität Dänemark wurde eine KWK-Technologie auf Basis Stirlingmotor für Nennleistungen von 35 und 70 kW<sub>el</sub> entwickelt [2, 3].

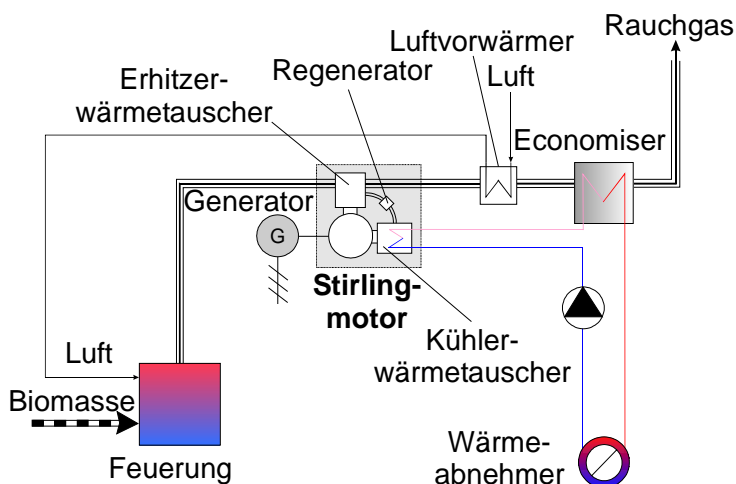


Abbildung 2: Schematische Darstellung der entwickelten Biomasse-KWK auf Basis eines Stirlingmotors

Der an der Technischen Universität Dänemark entwickelte Stirlingmotor setzt als Arbeitsgas Helium ein und ist hermetisch abgedichtet. Der Einsatz von Helium als Arbeitsgas ist bezüglich eines hohen elektrischen Wirkungsgrades sehr effizient, stellt jedoch hohe Anforderungen an die eingesetzten Dichtungen. Bei dem an der Technischen Universität Dänemark entwickelten Stirlingmotorkonzept befindet sich der Generator im dem unter Druck stehenden Motorgehäuse (siehe auch Abbildung 3), wodurch die Abdichtung der Antriebswelle und des Kolbens wesentlich vereinfacht wird. Nur die Kabel verlassen das Gehäuse, im Gehäuseinnenraum können einfache Dichtungen verwendet werden. Bei konventionellen Stirlingmotorkonzepten, die nicht hermetisch abgedichtet sind, stellen die bewegten Dichtungen (speziell der Kolbenstangen) einen Problemkreis dar, der technisch nur schwer in den Griff zu bekommen ist [4].

In Abbildung 2 ist der neu entwickelte Stirlingmotorprozess schematisch dargestellt. In der Feuerung wird Biomasse verbrannt. Die dabei entstehenden heißen Rauchgase werden durch den Erhitze-Wärmetauscher des Stirlingmotors geleitet, wo ein Teil des Energiegehaltes der Rauchgase genutzt wird und Wärme an das Arbeitsgas im Motor übertragen wird. Die Anlage ist für Rauchgastemperaturen im Bereich des Erhitze-Wärmetauschereintrittes von 1.300 °C konzipiert. Wegen der hohen auftretenden Feuerraumtemperaturen und der hohen Temperaturen am Erhitze-Wärmetauscher des Stirlingmotors kommen nur Brennstoffe mit hohem Ascheschmelzpunkt

und niedrigen Chlorgehalten (Hackschnitzel, Sägespäne und Pellets) als Brennstoff in Frage. Das Rauchgas verlässt den Erhitze-Wärmetauscher mit einer Temperatur von rund 850 °C. Die im Rauchgas enthaltene Restwärme wird anschließend in einem Luftvorwärmer zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt. Nach Verlassen des Luftvorwärmers wird das Rauchgas in einen nachgeschalteten Economiser geleitet, wo Wärme an ein Prozess- oder Fernwärmenetz abgegeben wird. Die Wärmeabfuhr im Kühler-Wärmetauscher des Stirlingmotors erfolgt durch Vorwärmung des Rücklaufes des Prozess- oder Fernwärmenetzes. Der Erhitze-Wärmetauscher ist mit einem automatischen Reinigungssystem ausgestattet, das Ascheanbackungen periodisch abreinigt und den bezüglich manueller Reinigung erforderlichen Aufwand deutlich reduziert, was für mit Biomassefeuerungen betriebene Stirlingmotoren hinsichtlich deren Verfügbarkeit von großer Bedeutung ist.

Mit KWK-Anlagen auf Basis Stirlingmotor werden derzeit elektrische Anlagenwirkungsgrade (= elektrische Leistung / zugeführte Brennstoffwärmeleistung [ $H_u$ ]) von rund 12% erreicht, das zukünftige Entwicklungsziel liegt bei bis zu 18%.



Abbildung 3: Bilder der Pilotanlage auf Basis eines 35 kW<sub>el</sub> Stirlingmotors

Die neu entwickelte KWK-Technologie stellt weltweit die erste erfolgreiche Anwendung von Stirlingmotoren in Biomassefeuerungen im Leistungsbereich kleiner 100 kW<sub>el</sub> dar und kann als Durchbruch bei der Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich angesehen werden. Die KWK-Technologie auf Basis eines 35 kW<sub>el</sub>-Stirlingmotors wird bereits seit über 10.000 Betriebsstunden erfolgreich getestet (siehe Abbildung 3). Eine Pilotanlage mit einem 70 kW<sub>el</sub>-Stirlingmotor wurde im Herbst 2003 in Betrieb genommen. Diese Anlage wird nun bereits über 3.000 Stunden erfolgreich betrieben. Eine erste Kleinserie von rund 10 Stirlingmotoren wird derzeit produziert, wobei erste Demonstrationsanlagen mit Motoren aus dieser Serie im Jahr 2005 in Betrieb gehen sollen.

Die Vorteile des Stirlingmotorprozesses liegen in der relativ kompakten Bauform (siehe Abbildung 3), im vollautomatischen Betrieb und in den niedrigen auftretenden Schallemissionen. Entwicklungsbedarf besteht insbesondere noch im Bereich der Reduktion der Ascheablagerungen am Erhitze-Wärmetauscher des Stirlingmotors, in der Optimierung einzelner Komponenten (z.B. bezüglich Schmierung und Lagerung) und in wirkungsgradsteigernden Maßnahmen. Weiters sind noch wenig Langzeit-Betriebserfahrungen mit Biomassefeuerungen vorhanden.

## **Biomasse-KWK-Technologien im mittleren Leistungsbereich – der ORC-Prozess**

Das Prinzip der Stromerzeugung mittels ORC-Prozess entspricht dem des konventionellen Rankine-Prozesses. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass statt Wasser ein organisches Arbeitsmittel mit speziell abgestimmten thermodynamischen Eigenschaften verwendet wird – da-

her der Name Organic Rankine Cycle (ORC). Eine entsprechend für Biomasse-KWK-Anlagen geeignete ORC-Anlage wurde von der Firma TURBODEN Srl, Brescia, Italien, entwickelt [5, 6]. Die ORC-Technologie ist für den Leistungsbereich zwischen 200 und 1.500 kW<sub>el</sub> geeignet.

In Abbildung 4 und Abbildung 5 ist das Arbeitsprinzip, die verschiedenen Komponenten des ORC-Prozesses sowie seine Integration in die Gesamtanlage am Beispiel des Biomassefernheizkraftwerkes Lienz dargestellt. Die ORC-Anlage ist mit dem Thermoölkessel über einen Thermoölkreislauf verbunden. Der ORC-Prozess selbst ist vollkommen geschlossen ausgeführt und verwendet ein Silikonöl als organisches Arbeitsmedium. Das unter Druck stehende Silikonöl wird durch das Thermoöl im Verdampfer verdampft sowie leicht überhitzt und danach in einer Axialturbine entspannt, die direkt an einen Asynchrongenerator gekoppelt ist. Bevor das entspannte Silikonöl in den Kondensator gelangt, wird es einem Regenerator zugeführt (zur internen Wärmerückgewinnung). Die Kondensation des Arbeitsmittels findet auf einer Temperaturstufe statt, welche eine Nutzung der abgeführten Wärme als Fern- bzw. Prozesswärme erlaubt (Warmwasservorlauftemperatur zwischen 80 und 100°C). Über eine Pumpe wird das kondensierte Arbeitsmittel schließlich wieder auf das Druckniveau des heißen Arbeitsteils des Kreislaufes gehoben und erreicht nach Durchströmung des Regenerators wieder den Verdampfer.

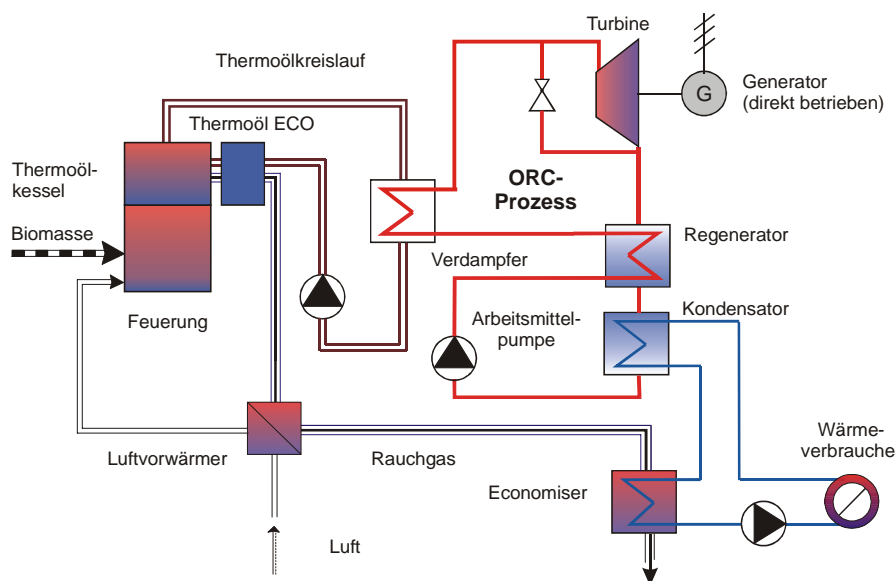


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Integration des ORC-Prozesses in die Gesamtanlage

Um einen möglichst hohen elektrischen Wirkungsgrad der ORC-Anlage (=elektrische Nettoleistung/zugeführte Wärmeleistung mit dem Thermoöl) zu erreichen, ist es notwendig den Gegendruck der Turbine und somit die erforderliche Fern- bzw. Prozesswärme-Vorlauftemperatur möglichst niedrig zu halten. Dies kann durch eine optimierte hydraulische Einbindung des ORC-Prozesses in die Gesamtanlage sowie durch eine optimierte Regelung der Anlagenhydraulik sowie des Fernwärmenetzes erreicht werden. Die ORC-Anlage sollte immer direkt mit dem Rücklauf des Fern- bzw. Prozesswärmenetzes verbunden werden und der aus dem ORC-Kondensator austretende Vorlauf sollte eine so niedrig wie möglich gehaltene Wassertemperatur aufweisen. Eine Nachwärmung des Vorlaufes ist dann durch den in Abbildung 4 ersichtlichen Rauchgas-Economiser bzw. andere nachgeschaltete Kesselanlagen (z.B. einen zweiten Biomasse-Heißwasserkessel bzw. einen Spitzenlastkessel) möglich. Bei Beachtung der genannten Vorgaben kann der ORC-Prozess normalerweise mit einer Wasser-Vorlauftemperatur von 80 bis 85°C ganzjährig betrieben werden, obwohl die erforderliche maximale Fern- bzw. Prozesswärmetemperatur bei 90 bis 95°C liegt. Der elektrische Nettowirkungsgrad des ORC-Prozesses liegt bei rund 18% (= elektrische Nettoleistung / zugeführter Wärmeleistung mit dem Thermoöl) und der elektrische Wirkungsgrad der Gesamtanlage (= elektrische Nettoleistung / zugeführter Brennstoffwärmeleistung [H<sub>u</sub>]) bei rund 15%.

Die Betriebserfahrungen an verschiedenen Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen haben gezeigt, dass die ORC-Technologie eine technisch und wirtschaftlich interessante Lösung für den mittleren Leistungsbereich darstellt. Aufgrund der sehr positiven Betriebserfahrungen hat sich die

Markteinführung der ORC-Technologie entsprechend beschleunigt. Derzeit befinden sich rund 20 Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf ORC-Basis in Österreich, Deutschland und Italien mit einer elektrischen Leistung zwischen 200 und 1.500 kW in Planung, Realisierung oder bereits in Betrieb. Laufende Entwicklungen konzentrieren sich auf eine weitere Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades sowie auf die Entwicklung von Standard-ORC-Modulen, welche für größere Leistungsbereiche einsetzbar und dadurch leichter in Kleinserien produzierbar sind, um eine Reduktion der Investitionskosten zu erreichen.

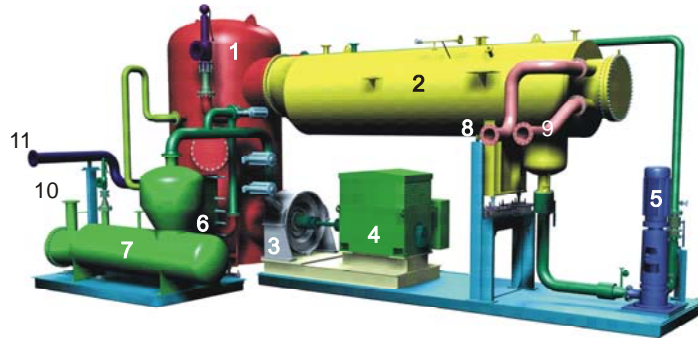


Abbildung 5: Grafische Darstellung eines 1.000 kW<sub>el</sub> ORC-Moduls

Erläuterungen: 1... Regenerator, 2 ... Kondensator, 3 ... Turbine, 4 ... Generator, 5 ... Umwälzpumpe, 6 ... Vorwärmer, 7 ... Verdampfer, 8 ... Fernwärme-Vorlauf, 9 ... Fernwärme-Rücklauf, 10 ... Thermoöl-Vorlauf, 11 ... Thermoöl-Rücklauf; Quelle: Turboden Srl, Brescia, Italien

Die Stärken der ORC-Technologie sind die ausgezeichnete Teillastfähigkeit und Lastwechselfähigkeit (wichtig für wärmegeführten Betrieb), die Technologiereife, die hohe Automatisierbarkeit und die niedrigen Betriebskosten. Weiters ist die ORC-Technologie eine robuste und langlebige Technik (geringe Instandhaltungskosten) und für den Betrieb ist kein Dampfkesselwärter notwendig (Reduktion der Personalkosten).

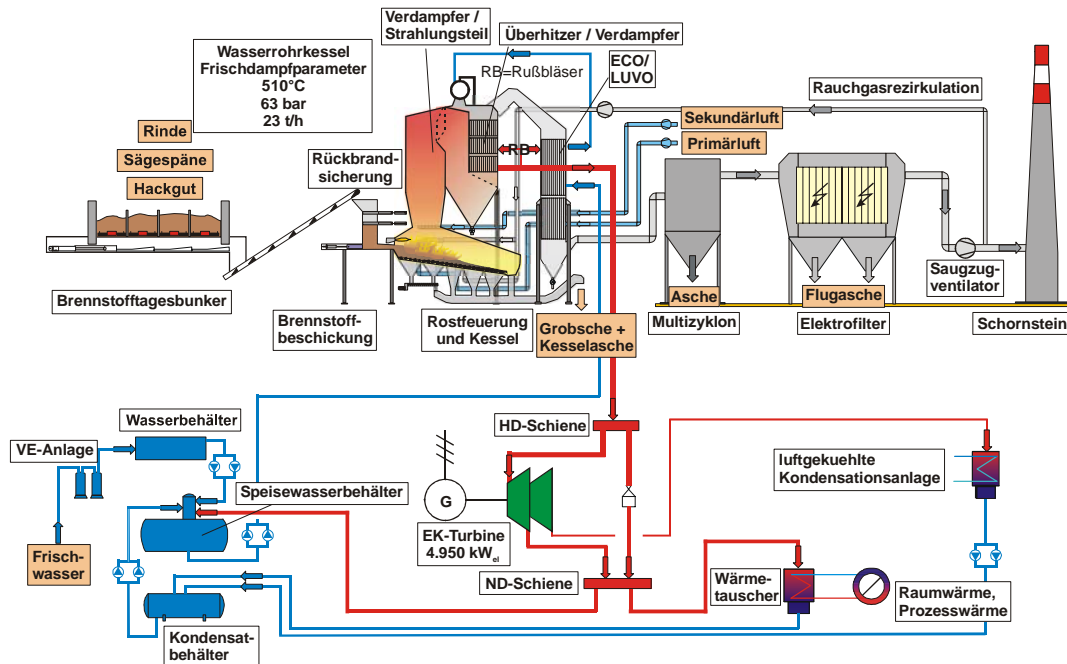
## **Biomasse-KWK-Technologien im großen Leistungsbereich – der Dampfturbinenprozess**

Technisch werden große Biomasse-KWK-Anlagen meist als Rost- oder Wirbelschichtfeuerungen mit Wasserrohrkessel und nachgeschalteter Dampfturbine (Gegendruckturbinen für rein wärmegeführten Betrieb oder Entnahme-Kondensationsturbinen für stromgeführten Betrieb) ausgeführt. In Abbildung 6 ist das vereinfachte Anlagenschema einer Biomasse-KWK auf Basis eines Dampfturbinenprozesses dargestellt. Für den Fall, dass nur chemisch unbehandelte holzartige Brennstoffe eingesetzt werden, sind, nach derzeitigem Stand der Technik, Frischdampftemperaturen bis ca. 540°C möglich, beim Einsatz von Altholz müssen die Frischdampftemperaturen aufgrund des erhöhten Depositions –und Korrosionsangriffes auf rund 450°C abgesenkt werden. Die erreichbaren elektrischen Jahresnutzungsgrade (= jährlich produzierte Strommenge / eingesetzte Brennstoffmenge [Hu] pro Jahr) sind von den Frischdampfparametern (Temperatur, Druck) einerseits und vom erforderlichen Temperaturniveau für die Prozess- bzw. Fernwärmeauskopplung andererseits abhängig. Sie liegen für Biomasse-KWK-Anlagen im Leistungsbereich zwischen 4 und 20 MW<sub>el</sub> üblicherweise zwischen 20 und 30%.

Weiters ist für eine Biomasse-KWK-Großanlage eine gesicherte Brennstoffversorgung von sehr großer Bedeutung. Aufgrund der im Vergleich zu fossilen Energieträgern niedrigen Energiedichte sind auch die Längen der Transportwege wirtschaftlich begrenzt, wodurch sich wiederum eine maximale sinnvolle Größe einer Biomasse-KWK-Anlage für eine bestimmte Region bzw. einen Betrieb ableitet.

Beispiele für bereits in Betrieb bzw. in Errichtung befindliche Großanlagen in Österreich sind das Biomasse-Heizkraftwerk Kufstein (6,5 MW<sub>el</sub>; in Betrieb seit 2003), das Biomasse-Heizkraftwerk Wien (19,5 MW<sub>el</sub>, in Planung), das Biomasse-Heizkraftwerk Timelkam (15,0 MW<sub>el</sub>, in Errichtung), das Biomasse-Heizkraftwerk Frankenmarkt (5,0 MW<sub>el</sub>, in Planung), das Biomasse-Heizkraftwerk Leoben (4,5 MW<sub>el</sub>, in Errichtung), die Biomasse-Heizkraftwerke Brunn, Mödling und Baden bei

Wien (jeweils 5,0 MW<sub>el</sub>, in Planung) sowie das Biomasse-Heizkraftwerk Linz-Mitte (7,0 MW<sub>el</sub>, in Planung).



**Abbildung 6:** Biomasse-KWK auf Basis eines Dampfturbinenprozesses mit Entnahme-Kondensationsturbine – vereinfachtes Anlagenschema

## Biomasse-KWK-Technologien im großen Leistungsbereich – Wirbelschicht-Dampfvergasung mit nachgeschaltetem Gasmotor

Die Biomassevergasung ist technologisch noch nicht so weit entwickelt wie die Biomasseverbrennung und besitzt derzeit noch keine Marktreife. Erste Demonstrationsprojekte wurden jedoch bereits erfolgreich realisiert.

In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Wirbelschichtvergasungsanlage mit nachgeschaltetem Gasmotor in Güssing zu nennen [7]. Als Vergasungstechnologie wird bei der Anlage Güssing die allotherme Dampfvergasung eingesetzt, die am Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften der TU Wien gemeinsam mit der AE Energietechnik entwickelt wurde. Das Herzstück der Anlage, der Wirbelschicht-Dampf-Vergaser, besteht aus zwei miteinander verbundenen Wirbelschichtsystemen (siehe Abbildung 7). Im Vergasungsteil wird die Biomasse bei ca. 900°C unter Zufuhr von Dampf vergast. Durch die Verwendung von Wasserdampf an Stelle von Luft als Vergasungsmedium entsteht ein stickstofffreies, teearmes Produktgas mit hohem Heizwert. Ein Teil des verbleibenden Kokes wird über das umlaufende Bettmaterial (Sand), das als Wärmeträger fungiert, in den Verbrennungsteil transportiert und dort verbrannt. Die dabei an das Bettmaterial abgeführte Wärme wird zur Aufrechterhaltung der Vergasungsreaktionen benötigt. Das Rauchgas aus dem Verbrennungsteil wird getrennt abgeleitet, wobei die enthaltene Wärme zur Dampfproduktion sowie zur Auskopplung von Fernwärme genutzt wird.

Das mit einer Temperatur von rund 890 °C aus dem Vergaser austretende Produktgas wird im nachgeschalteten Produktgaskühler auf eine Temperatur von ca. 150 °C gekühlt. Die dabei gewonnene Wärme wird zur Dampferzeugung genutzt und in das Fernwärmenetz eingespeist. Die Entstaubung des Gases erfolgt in einem Pre-Coat-Gewebefilter. Als Abreinigungsmedium für den Filter wird Inertgas (Stickstoff) verwendet. Der abgeschiedene Staub wird wegen seines Gehaltes an brennbaren Substanzen in die Brennkammer des Gaserzeugers rückgeführt. Im nachgeschalteten Gaswäscher wird das Produktgas weiter auf die für den Gasmotor zulässige Temperatur von 50 °C abgekühlt und die Konzentrationen an Teer, Ammoniak und sauren Gasbestandteilen reduziert. Als Waschmedium wird ein organisches Lösungsmittel eingesetzt. Durch das spezielle Ver-

fahren ist es möglich, alle Reststoffe in den Prozess zurückzuführen (Nachverbrennung), wodurch bei der Gasreinigung weder Abfälle noch Abwässer anfallen.

Der elektrische Wirkungsgrad der Anlage Güssing liegt bei rund 25%, der Gesamtwirkungsgrad (Strom und Wärme) bei rund 80%. Die Brennstoffwärmeleistung beträgt 8 MW und die elektrische Nennleistung 2 MW. Die Anlage wurde Ende 2001 in Betrieb genommen und bis Mitte 2004 rund 12.000 Stunden betrieben, wobei der Gasmotor rund 9.000 Stunden gefahren wurde.

Die Vorteile der Vergasungstechnologie mit nachgeschaltetem Gasmotor liegen vor allem im relativ hohen erreichbaren elektrischen Wirkungsgrad. Weiters weist das Produktgas einen hohen Heizwert auf und ist vielseitig verwendbar. Als Nachteile sind die hohe Anlagenkomplexität, die für den Einsatz in Gasmotoren erforderliche aufwändige Gasreinigung, die schlechte Teillastfähigkeit, die hohen Betriebskosten und die geringe Technologiereife zu nennen.

Eine interessante zukünftige Anwendung stellt die Kopplung der Wirbelschicht-Dampfvergasung mit einem ORC-Prozess zur Abwärmenutzung dar (GuORC). Der elektrische Anlagenwirkungsgrad dieser Technologie, die sich derzeit gerade in Entwicklung befindet, wird bei rund 30% liegen.

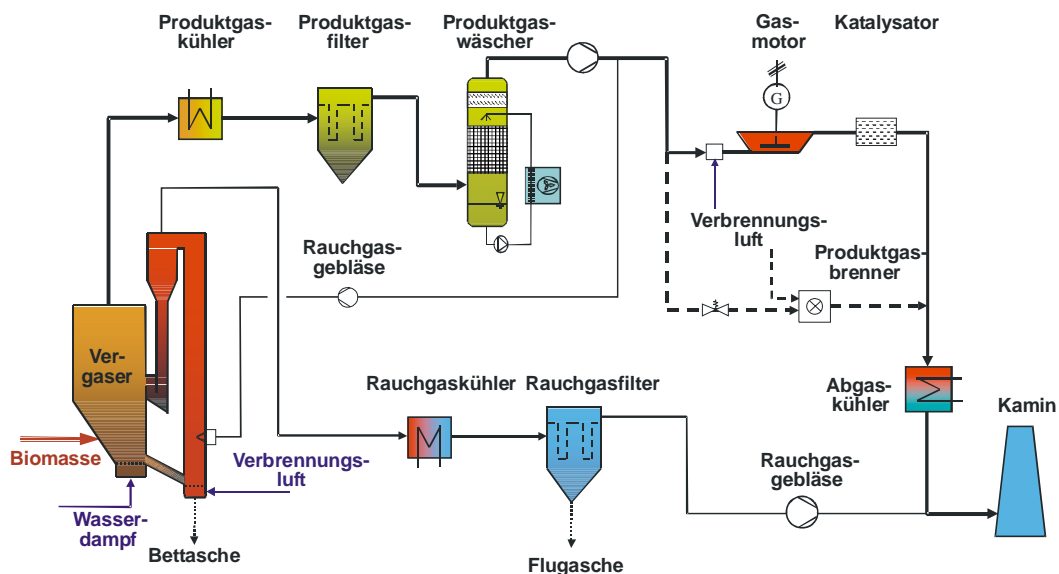


Abbildung 7: Vereinfachtes Schema der Wirbelschicht-Dampfvergasungsanlage mit nachgeschaltetem Gasmotor in Güssing

Erläuterungen: Quelle: RENET Austria

## Wirtschaftliche Aspekte

In Abbildung 8 sind die spezifischen Mehr-Investitionskosten von KWK-Anlagen auf Basis fester Biomasse in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung dargestellt. Bei den spezifischen Mehr-Investitionskosten werden nur die erhöhten Investitionen einer Biomasse-KWK im Vergleich zu einer konventionellen Biomassefeuerung mit Heißwasserkessel (mit gleicher Nutzwärmeleistung) berücksichtigt, da nur diese Mehrkosten für die Stromerzeugung relevant sind. Es zeigt sich, dass die spezifischen Mehr-Investitionskosten zu kleineren elektrischen Nennleistungen hin deutlich ansteigen. Beim Stirlingmotorprozess, dessen elektrische Nennleistung unter 100 kW liegt, sind die spezifischen Mehr-Investitionskosten mit rund 3.500 €/kW<sub>el</sub> am höchsten. Der Dampfturbinenprozess weist bei einer elektrischen Nennleistung von 7.000 kW mit rund 1.700 €/kW<sub>el</sub> die niedrigsten spezifischen Mehr-Investitionskosten auf. Die spezifischen Mehr-Investitionskosten des ORC-Prozesses liegen zwischen 2.650 €/kW<sub>el</sub> (bei einer Nennleistung von 1.100 kW<sub>el</sub>) und rund 3.300 €/kW<sub>el</sub> (bei einer Nennleistung von 400 kW<sub>el</sub>).

Abbildung 9 zeigt die spezifischen Stromerzeugungskosten von Biomasse-KWK-Anlagen in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung. Weiters sind in dieser Abbildung die in Österreich für Anlagen, die bis Ende 2004 genehmigt wurden, gültigen Stromspeisetarife dargestellt. Die spezifischen Stromerzeugungskosten berücksichtigen alle für die Stromerzeugung anfallenden Mehrkosten im Vergleich zu einer konventionellen Biomassefeuerung mit Heißwasserkessel (mit glei-



cher Nutzwärmeleistung). Es zeigt sich, wie bei den spezifischen Mehr-Investitionskosten, dass die spezifischen Stromerzeugungskosten in Richtung kleinerer Nennleistungen deutlich ansteigen. Bei Anlagengrößen unter 100 kW<sub>el</sub> betragen die spezifischen Stromerzeugungskosten rund 0,18 €/kWh<sub>el</sub>. Bei Dampfturbinenprozessen mit elektrischen Nennleistungen zwischen 5 und 10 MW<sub>el</sub> sind die spezifischen Stromerzeugungskosten mit rund 0,09 €/kWh<sub>el</sub> wesentlich niedriger. Dies verdeutlicht die Sinnhaftigkeit einer Staffelung der Stromeinspeisetarife in Abhängigkeit der elektrischen Anlagennennleistung. Weiters ist aus Abbildung 9 ersichtlich, dass die spezifischen Stromerzeugungskosten auch von den Kosten des eingesetzten Brennstoffes deutlich beeinflusst werden und somit auch in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoff gestaffelt sein sollten.

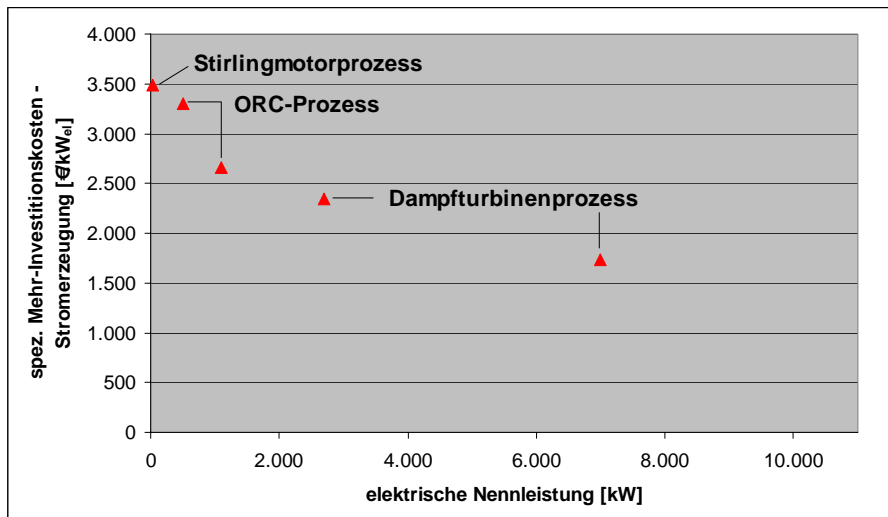


Abbildung 8: Spezifische Mehr-Investitionskosten von KWK-Anlagen auf Basis fester Biomasse in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung

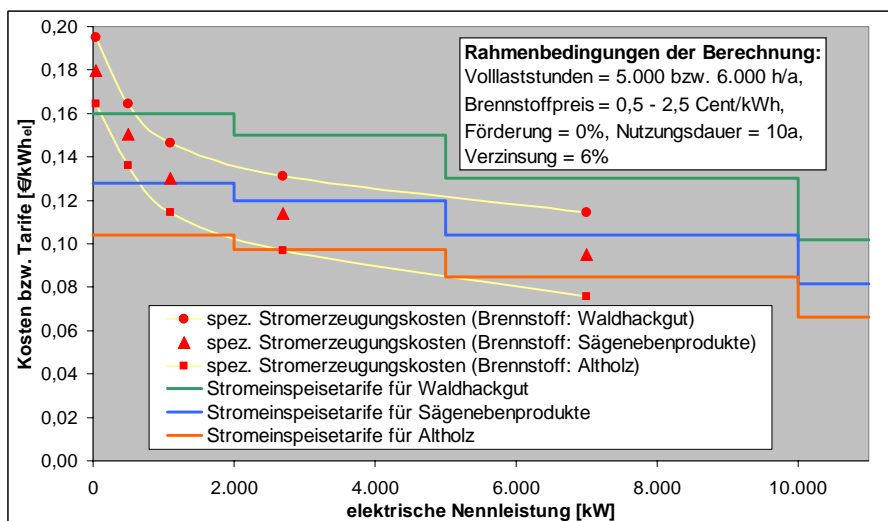


Abbildung 9: Spezifische Stromerzeugungskosten von Biomasse-KWK-Anlagen im Vergleich zu den in Österreich gültigen Stromeinspeisetarifen in Abhängigkeit der elektrischen Nennleistung

## Zusammenfassung und wichtige Rahmenbedingungen für Biomasse-KWK-Anlagen

Wesentliche erforderliche Rahmenbedingungen für Biomasse-KWK-Anlagen sind vernünftig definierte Stromeinspeisetarife, die einen wirtschaftlichen Betrieb derartiger Anlagen sicherstellen, eine gesicherte Brennstoffversorgung (vor allem bei großen Anlagen sehr wichtig) sowie eine möglichst vollständige Nutzung der produzierten Wärme. In diesem Zusammenhang sollte der Jahresnutzungsgrad (= Summe aus erzeugtem Strom + nutzbarer Wärme p.a. / eingesetzte Brennstoffenergie p.a. (bezogen auf [H<sub>u</sub>])) großer Biomasse-KWK-Anlagen zumindest über 60% betragen, bei wärmegeführter Betriebsweise sind über 80% möglich.

Für eine Biomasse-KWK-Großanlage ist eine gesicherte Brennstoffversorgung von sehr großer Bedeutung. Aufgrund der im Vergleich zu fossilen Energieträgern niedrigen Energiedichte sind auch die Längen der Transportwege wirtschaftlich begrenzt, wodurch sich wiederum eine maximale sinnvolle Größe einer Biomasse-KWK-Anlage für eine bestimmte Region bzw. einen Betrieb ableitet. Weiters ist es wichtig den für den Betrieb der Anlage erforderlichen Brennstoff entsprechend vertraglich zu sichern, sowohl was die Mengen als auch was den Preis betrifft. Dies macht in Österreich für diejenigen Anlagenbetreiber, die den Brennstoff nicht betriebsintern verfügbar haben, Waldhackgut zu einem sehr interessanten Brennstoff, da Waldhackgut das größte nachhaltig verfügbare und noch ungenutzte Brennstoffpotential in Österreich aufweist.

KWK-Technologien auf Basis fester biogener Brennstoffe stehen derzeit in verschiedenen Leistungsbereichen zu Verfügung. Für Kleinanlagen (<100 kW<sub>el</sub>) erscheint insbesondere der Stirlingmotorprozess geeignet. Für mittelgroße Anlagen (200 bis 1.500 kW<sub>el</sub>) bietet sich insbesondere die ORC-Technologie an. Für Großanlagen (größer 2 MW<sub>el</sub>) stehen Dampfturbinenprozesse und eventuell zukünftig auch Biomasse-Vergasungsprozesse zur Verfügung. Weiterentwicklungen konzentrieren sich insbesondere auf die Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades, auf modulare und somit kostengünstige Bauweisen und auf neue technologische Konzepte.

Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung der KWK-Technologien auf Basis erneuerbarer Energieträger ist zukünftig, dass ausreichend hohe Einspeisetarife über einen gesicherten Zeitraum (mindestens 10 Jahre) von Seiten der Legislative garantiert werden und diese Rahmenbedingungen auch über einen ausreichend langen Zeitraum gewährleistet sind, der es erlaubt Technologienentwicklung, Demonstration und Markteinführung für neue Technologien zu realisieren. Eine Verlängerung der österreichischen Ökostromverordnung bezüglich Biomasseverstromung unter Berücksichtigung eines Effizienzkriteriums sowie ein weiterer Ausbau von Biomasse-KWK-Anlagen ist wichtig und sinnvoll, da sowohl der Stromverbrauch als auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Österreich steigen. Diesbezüglich ist großes CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial durch Biomasse-KWK-Anlagen vorhanden. Weiters bieten Biomasse-KWK-Technologien für österreichische Anlagenbauer die Chance große und wichtige Exportmärkte zu erschließen. In diesem Zusammenhang sind Know-How Vorsprung und realisierte Referenzprojekte von wesentlicher Bedeutung. Dieses große wirtschaftliche und technologische Potenzial sollte auch zukünftig genutzt und unterstützt werden.

## Literatur

- 1 EUROPEAN COMMISSION, 2004: Electricity From Renewable Energy Sources. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, Brussels, ISBN 92-894-6666-9, [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/index_en.html)
- 2 OBERNBERGER I., CARLSEN H., BIEDERMANN F., 2003: State-of-the-art and future developments regarding small-scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies. In: Proc. of the Int. Nordic Bioenergy Conf., Sept. 2003, Jyväskylä, ISBN 952-5135-26-8, ISSN 1239-4874, pp. 331-339, Finnish Bioenergy Association (ed), Jyväskylä, Finland
- 3 BIEDERMANN F., CARLSEN H., OBERNBERGER I., SCHÖCH M., 2004: Small-scale CHP plant based on a 75 kW<sub>el</sub> hermetic eight cylinder Stirling engine for biomass fuels – development, technology and operating experiences. In: Proc. of the 2nd World Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, May 2004, Rome, Italy, Volume II, ISBN 88-89407-04-2, pp.1722-1725, ETA-Florence (Ed.), Italy
- 4 BIEDERMANN F., CARLSEN H., SCHÖCH M., OBERNBERGER I., 2003: Operating experiences with a small-scale CHP pilot plant based on a 35 kW<sub>el</sub> hermetic four cylinder Stirling engine for biomass fuels. In: Proc. of the 11<sup>th</sup> International Stirling Engine Conference (ISEC), Nov. 2003, Rome
- 5 OBERNBERGER Ingwald, 2003: Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung auf ORC-Basis – Vorstellung der EU-Demonstrationsprojekte Holzindustrie STIA/Admont und Fernheizkraftwerk Lienz in Österreich: In: Tagungsband zum 12. Symposium „Energie aus Biomasse – Biogas, Flüssigkraftstoffe, Festbrennstoffe“, Kloster Banz, Deutschland, ISBN 3-934681-28-X, pp. 204-210, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI) (Hrsg.), Regensburg, Deutschland
- 6 OBERNBERGER I., BINI R., REISINGER H., BORN M., 2003: Fuzzy Logic controlled CHP plant for biomass fuels based on a highly efficient ORC process, final publishable report of the EU-project No. NNE5/2000/475, European Commission (ed.), Brussels, Belgium, 2003
- 7 RAUCH R, HOFBAUER H., 2004: Dezentrale Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis Biomasse-Vergasung. In: Tagungsband zum 14. DVV Kolloquium, 18.-20.11.2004, Wien, Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung e.V. (ed.), Essen, Deutschland