

# Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien

Von Ingwald Obernberger und Alfred Hammerschmid

Derzeit erfolgt in Österreich eine Stromerzeugung aus Biomasse hauptsächlich in Großanlagen der Papier- und Zellstoffindustrie - an 10 Standorten; vorwiegend mit Ablauge und Rinde als Brennstoff - sowie in etwas mehr als 10 kleinen bis mittelgroßen Anlagen, größtenteils in Holzverarbeitenden Betrieben. Der Grund für diese geringe Anlagenanzahl im Vergleich zur gesamten energetischen Biomassennutzung in Österreich liegt im wesentlichen an bislang fehlenden ausgereiften Technologien zur Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich und an den fehlenden wirtschaftlichen Anreizen durch zum Teil unter den Wärmepreisen liegenden Stromeinspeisetarifen. In größerem Ausmaß wird Biomasse jedoch zur alleinigen Erzeugung von Wärme in Holzverarbeitenden Betrieben, in Biomassefernhelzwerken und in Haushalten verwendet. Aufgrund der stark dezentralen Bevölkerungsverteilung und des großen heimischen Waldreichtums würden sich besonders Energiekonzepte mit dezentralen Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK) anbieten. In der Regel sind von den potentiellen Betreibern nur geringe Personalressourcen und begrenzte finanzielle Mittel verfügbar, weswegen hohe Ansprüche an die Robustheit, einen störungsfreien Betrieb und eine gute Regelbarkeit bzw. Automatisierbarkeit einer dezentralen Biomasse-KWK gestellt werden.

In den letzten Jahren wurden verstärkt Technologien zur Stromerzeugung im Leistungsbereich bis etwa 2 MW<sub>el</sub> entwickelt bzw. verbessert, welche für den Einsatz in Biomasse-KWK-Anlagen sehr erfolgversprechend scheinen. Derartige Anlagen sollten überwiegend wärmegeführt betrieben werden, um hohe Gesamtwirkungsgrade zu erreichen. Im Rahmen einer umfassenden Studie /1/ sind diese Konzepte in technologischer und in wirtschaftlicher Hinsicht detailliert untersucht, bewertet und gegenübergestellt worden. Derzeit gibt es zwei marktreife Technologien zur dezentralen Stromerzeugung aus fester Biomasse. Es sind dies der Dampfturbinen- und der Dampfkolbenmotorprozess. Drei innovative Technologien, nämlich der Dampfschraubenmotorprozess, der Stirlingmotorprozess und der ORC-Prozess haben bereits ein hohes Entwicklungsniveau erreicht und stehen am Sprung zur Markteinführung. Die Festbettvergasung mit nachgeschaltetem Gasmotor und die Wirbelschichtvergasung mit nachgeschaltetem Gasmotor bzw. Gasturbine können dieses Stadium ebenfalls erreichen, wenn das Problem der Produktgasreinigung mit effizienten praxistauglichen Konzepten gelöst werden kann. Zwei weitere innovative Technologien, der direkte (inverse) Gasturbinenprozess und der indirekte Gasturbinenprozess (Heißluftturbinenprozess) befinden sich erst auf niedrigem Entwicklungsstand.

Diese Technologien können, je nach Rahmenbedingungen und Anlagenauslegung, alle Anwendungsfälle für dezentrale Biomasse-KWK-Anlagen im Leistungsbereich von bis zu 2 MW<sub>el</sub> abdecken, manche Technologien auch deutlich größere Leistungsbereiche. Allen untersuchten innovativen Technologien gemeinsam ist das zum Teil noch große technische und wirtschaftliche Entwicklungspotential. Die Erschließung dieses Potentials kann zu Effizienzsteigerungen der Prozesse und zu Kostensenkungen führen. Nach Erreichung der Marktreife und Beginn einer eventuellen Kleinserienfertigung ist bei den untersuchten innovativen Prozessen mit weiteren Kostensenkungen zu rechnen. Die günstigsten Technologien zur dezentralen Stromerzeugung aus fester Biomasse erreichen derzeit schon spezifische Mehrinvestitionskosten - Kosten der Stromerzeugung als Mehrkosten im Vergleich zu einer

Biomasse-Heißwasseranlage gleicher Nutzwärmeleistung - von knapp unter 20.000 ATS/kW<sub>el</sub>. Je nach Rahmenbedingungen (gute Anlagenauslastung, mittlere Brennstoffpreise) sind damit spezifische Stromerzeugungskosten aus Biomasse-KWK-Anlagen ab etwa 0,5 ATS/kWh<sub>el</sub> möglich, wobei die Dampfprozesse und der ORC-Prozess am besten abschneiden.

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Konkurrenzfähigkeit sind erhöhte Einspeisetarife für aus regenerativen Energiequellen erzeugten Strom von großer Bedeutung. Im kürzlich beschlossenen Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG) wird festgehalten, dass bis zum Jahre 2005 eine zusätzliche (im Vergleich zu 1998) Stromproduktion aus erneuerbaren heimischen Energien - ohne Wasserkraft - im Ausmaß von 3% der an Letztverbraucher abgegebenen Strommenge erreicht werden soll. Dies wird einer Strommenge von etwa 1.500 GWh/a entsprechen. Außerdem sind die Bundesländer verpflichtet, Mindest-Einspeisetarife für Strom aus erneuerbaren Energien festzulegen. Der Biomasse werden unter den erneuerbaren Energien die größten Potentiale zugeschrieben. Aus Sicht der Biomasse-Brennstoffverfügbarkeit bestehen grundsätzlich keine Restriktionen im Hinblick auf eine 100%-ige Deckung des durch die Vorgaben des EIWOG zusätzlich induzierten Bedarfs an fester Biomasse.

Typische Anwendungsfälle für Biomasse-KWK-Anlagen sind holzverarbeitende Betriebe, Nah- bzw. Fernheizwerke, sonstige Industriebetriebe mit hohem Prozesswärmebedarf sowie die Zufeuerung von Biomasse in bestehenden Kohlekraftwerken. Für alle diese Anwendungsfälle bestehen in Österreich beträchtliche Umsetzungspotentiale.

Nimmt man an, dass mit Biomasse-KWK-Anlagen insgesamt 80% des EIWOG-Zieles erreicht werden sollen und diese eine durchschnittliche elektrische Jahresvollaststundenzahl von 4.000 h/a aufweisen, so wäre dafür eine gesamte installierte elektrische Leistung von 300 MW<sub>el</sub> notwendig. Berücksichtigt man weiters die Planungs- und Vorlaufzeiten von KWK-Projekten, so erkennt man, dass rascher Handlungsbedarf erforderlich ist.

## **Der ORC-Prozess als innovative Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie als EU-Demonstrationsprojekt in Österreich realisiert**

Ein erster wichtiger Schritt in Richtung einer verstärkten kombinierten Strom- und Wärmeproduktion aus Biomasse wurde mit der Realisierung und Inbetriebnahme einer Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis eines Organic Rankine Cycles (ORC-Prozess) in der Holzindustrie STIA in Admont gesetzt (Abbildungen 1 und 2). Bei dieser innovativen Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie, die im Rahmen eines EU-THERMIE-Projektes gefördert wird, handelt es sich um die erste derartige Anlage innerhalb der Europäischen Union. Diese Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung besitzt eine elektrische Nennleistung von 400 kW und ist seit September 1999 in kontinuierlichen Betrieb.

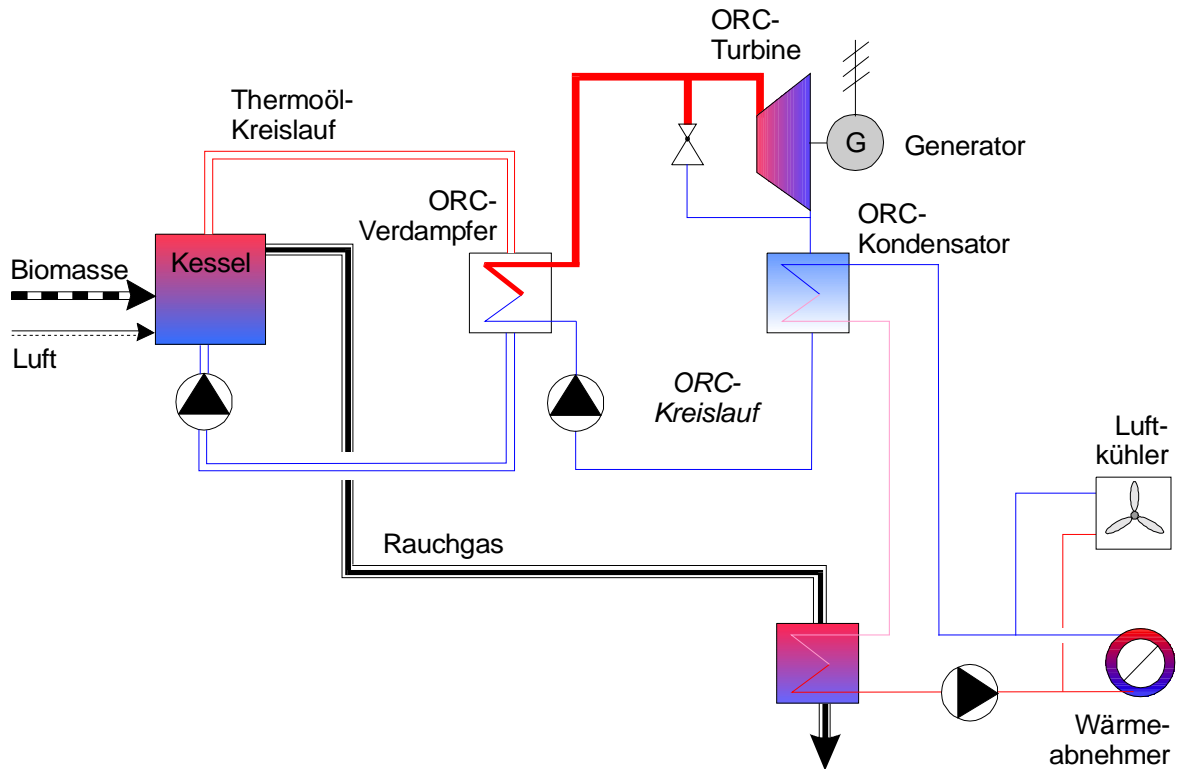


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Biomasse-KWK mit ORC-Prozess. Herzstück der Biomasse-KWK auf ORC-Basis ist der auch bei den Dampfprozessen verwendete Rankine-Prozess.



Abbildung 2 Bei der STIA im steirischen Admont wurde eine auf einem Containerrahmen vormontierte ORC-Anlage installiert. Die Anlage hat eine elektrische Nennleistung von 400 kW und ist seit September 1999 in Betrieb.

Herzstück der Biomasse-KWK auf ORC-Basis ist der auch bei den Dampfprozessen verwendete Rankine-Prozess. Beim Organic Rankine Cycle (ORC) wird anstelle von Wasser ein organischen Arbeitsfluid eingesetzt. Mit diesem Prozess ist es möglich, aus Wärmeenergie auf niedrigem Temperaturniveau elektrische Energie zu erzeugen. Durch die Wahl eines

entsprechenden organischen Arbeitsmittels kann der elektrische Wirkungsgrad in Abhängigkeit der vorgegebenen Rahmenbedingungen auf der heißen und kalten Seite optimiert werden.

Biomasse wird in einer entsprechenden Feuerungsanlage verbrannt. Das so erzeugte Rauchgas durchströmt einen Thermoölkessel, in dem Thermoöl erhitzt wird. Über einen Thermoölkreislauf wird dem Verdampfer des ORC-Prozesses Wärme zugeführt und das organische Arbeitsmedium des ORC-Prozesses verdampft. Der Dampf gelangt zur Turbine, in der er unter Entspannung mechanische Arbeit leistet, die im Generator in elektrische Energie umgesetzt wird. Der entspannte Dampf gelangt nach Durchströmen eines Rekuperators (zur Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades) in einen Kondensator, wo die abgeführte Wärme auf einem Temperaturniveau zur Verfügung steht, welches den Betrieb eines Heißwassernetzes zur Fern- bzw. Prozesswärmebereitstellung ermöglicht. Über eine Pumpe wird das Kondensat wieder auf Betriebsdruck gebracht und über den Rekuperator in den Verdampfer geleitet. Damit ist der ORC-Kreislauf geschlossen.

Das aus der Feuerung austretende und vorentstaubte Rauchgas durchströmt einen Economiser. Die so rückgewonnene Wärme wird ebenfalls als Fern- bzw. Prozesswärme genutzt, erhöht den Wirkungsgrad der Gesamtanlage und ermöglicht eine niedrigere Betriebstemperatur des Kondensators im ORC-Kreislauf, wodurch der elektrische Wirkungsgrad angehoben werden kann. Das Rauchgas gelangt nach entsprechender Reinigung schließlich zum Kamin, von wo aus es in die Umgebung entweicht.

Der elektrische Wirkungsgrad der ORC-Anlage in der Holzindustrie STIA, Admont, liegt bei 17,7% (erzeugte Nettostrommenge / dem ORC-Kreislauf zugeführte Wärme). Als organisches Arbeitsmittel wird Silikonöl in einem geschlossenen Kreislauf eingesetzt. Dieses Öl ist nicht toxisch und auch kein Treibhausgas.



*Abbildung 3: Die Turbine der ORC-Anlage in Admont ist eine zweistufige Achsialturbine mit direkt getriebenen Generator. Als organisches Arbeitsmittel wird Silikonöl eingesetzt.*

Die Vorteile des ORC-Prozesses sind die hohe Robustheit, die gute Regelbarkeit, Teillastfähigkeit und Automatisierbarkeit sowie der geringe Wartungs- und Instandhaltungsaufwand. Die Anlage arbeitet vollautomatisch und kann zwischen 10 und 100% der Nennlast kontinuierlich betrieben werden. Zusätzlich ist für derartige Anlagen kein Dampfkesselwärmer erforderlich. ORC-Anlagen können auch in bestehenden Biomassefeuerungsanlagen nachgerüstet werden, indem der Heißwasser- durch einen Thermoölkessel getauscht wird. Durch

das erfolgreich laufende EU-Demonstrationsprojekt in der Holzindustrie STIA in Admont wird die Leistungsfähigkeit und Ausgereiftheit dieser Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie unter Beweis gestellt. Diese Anlage stellt dadurch eine sehr gute Basis für die weitere Verbreitung derartiger Anlagen in Österreich und Europa dar.

## Literatur

- /1/ OBERNBERGER Ingwald, HAMMERSCHMIED Alfred, 1999: Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien – Potential, technische und wirtschaftliche Bewertung, Einsatzgebiete, Schriftenreihe "Thermische Biomassenutzung", Band 4, ISBN 3-7041-0261-X, dbv-Verlag der Technischen Universität Graz, Graz, Österreich. Die angeführte Studie kann direkt beim Ingenieurbüro BIOS bestellt werden (Tel.: 0316 481300; Fax: 0316 4813004; E-Mail: office@bios-bioenergy.at). Preis (inkl. MWST.): 385,- öS + 60,- öS Versandkosten.

## Autoren

Univ.-Doz. Dipl.-Ing.Dr. Ingwald Obernberger  
[Institut für Grundlagen der Verfahrens- und Anlagentechnik, Technische Universität Graz](#)

Dipl.-Ing. Alfred Hammerschmid ist Mitarbeiter des [Ingenieurbüro BIOS, Graz](#)

Dieser Artikel ist in der Zeitschrift „*erneuerbare energie*“ der [Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – AEE](#) erschienen.