

DEZENTRALE BIOMASSE-KRAFT-WÄRME- KOPPLUNGSTECHNOLOGIEN

POTENTIALE
EINSATZGEBIETE
TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE
BEWERTUNG



STROMERZEUGUNG AUS BIOMASSE - TECHNOLOGIEN UND ENTWICKLUNGEN IN ÖSTERREICH

■ Der dezentralen thermischen Biomassenutzung kommt in Österreich ein hoher Stellenwert zu. Neben den industriellen und gewerblichen Anlagen in der Papier- und Zellstoffindustrie sowie in der Holzverarbeitenden Industrie sind insbesondere Biomassefernhelzwerke mit einer Anlagengröße von 0,5 bis 10,0 MW_{th} von Bedeutung. In den letzten 10 Jahren konnten diese Biomassefernhelzwerke jährliche Steigerungsraten von über 10% verzeichnen. Ende 1997 waren bereits 359 Anlagen in Betrieb.

Stromerzeugung aus Biomasse erfolgt derzeit in Österreich aber nur an ca. 10 Standorten in Großanlagen der Papier- und Zellstoffindustrie (mit Ablauge und Rinde als Brennstoff) und in etwas mehr

Die wissenschaftlichen Arbeiten und Erfolge der letzten Jahre auf dem Gebiet der Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich sowie geänderte oder in Änderung befindliche wirtschaftliche Rahmenbedingungen für dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung auf Biomassebasis haben die Situation für die Stromproduktion aus Biomasse deutlich verbessert.

Teil unter dem Wärmepreis liegenden durchschnittlichen Stromeinspeisetarifen in das öffentliche Elektrizitätsnetz.

■ Zu wenig auf dem derzeitigen Stand der Technik basierendes Informationsmaterial, das über die Möglichkeiten dezentraler KWK-Anlagen auf Biomassebasis Auskunft gibt.

In den letzten Jahren wurden verstärkt Technologien zur Stromerzeugung im Leistungsbereich bis etwa 2 MW_{el} ent-

Energieverwertungsagentur Wien erarbeitet wurde, wurden solche Konzepte zur dezentralen KWK auf Biomassebasis technologisch (hinsichtlich Betriebsverhalten, Betriebsmittel, Regelungstechnik, Wartungsaufwand, ökologischen Aspekten, Entwicklungsstand) bewertet und gegenübergestellt. Außerdem wurden für die Technologien, die bereits verfügbar sind oder kurz vor der Markteinführung stehen, detaillierte wirtschaftliche Bewertungen vorgenommen.

Es gibt zur Zeit zwei marktreife Technologien zur dezentralen Stromerzeugung aus fester Biomasse, den Dampfturbinen- sowie den Dampfkolbenmotorprozeß. Drei innovative Technologien, nämlich der Dampfschraubemotorprozeß, 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. Darüber hinaus befinden sich zwei weitere innovative Technologien, der direkte (inverse) Gasturbinenprozeß und der indirekte Gasturbinenprozeß (Heißluftturbinenprozeß) in Entwicklung.

Allen untersuchten innovativen Technologien gemeinsam ist das noch große technische und wirtschaftliche Entwicklungspotential. Daher sind für alle Konzepte noch deutliche Effizienzsteigerungen der Prozesse und auch Kostensenkungen zu erwarten.

BIOMASSEEINSATZ ZUR ALLEINIGEN WÄRME- UND STROMERZEUGUNG IN DER EU UND IN ÖSTERREICH

	EU 1995	EU-Ziel 2010	Österreich 1995
Biomasseinsatz zur alleinigen Wärmeerzeugung (bezogen auf H _U)	1.597,7 PJ/a	3.150,0 PJ/a	90,0 PJ/a
Biomasseinsatz in Anlagen mit Stromerzeugung (bezogen auf H _U)	283,9 PJ/a	2.520,0 PJ/a	20,0 PJ/a
Stromerzeugung aus Biomasse	81,0 PJ _{el} /a	828,0 PJ _{el} /a	⁽¹⁾ 5,5 PJ _{el} /a
Gesamt-Biomasseinsatz (bezogen auf H_U)	1.881,6 PJ/a	5.670,0 PJ/a	110,0 PJ/a

Datenquellen (AEBIOM, 1998; ÖSTAT, 1998; Werte für Biomasse korrigiert nach OBERNBERGER, I., 1997)

⁽¹⁾ Wert gilt für 1996

als 10 kleinen und mittleren Anlagen in Holzverarbeitenden Betrieben. Die Biomassefernhelzwerke produzieren derzeit ausschließlich Wärme. Aufgrund des großen heimischen Waldreichtums und der stark dezentralen Bevölkerungsverteilung würden sich in Österreich besonders Energiekonzepte mit dezentralen Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen anbieten. Gründe, warum sich solche Konzepte bisher noch nicht durchsetzen konnten, sind:

■ Fehlende Technologien zur wirtschaftlichen Stromerzeugung im kleinen Leistungsbereich und bei Anlagen mit niedrigen Jahresvolllastbetriebsstunden.

■ Fehlende wirtschaftliche Anreize zur dezentralen Stromproduktion in Biomasseheizwerken durch zum

wickelt oder verbessert, die für den Einsatz in Biomasse-KWK-Anlagen erfolgsversprechend erscheinen. Derartige Anlagen sollten überwiegend wärmegeführt betrieben werden, um hohe Gesamtwirkungsgrade zu erreichen. Da die potentiellen Betreiber solcher Anlagen in der Regel nur über geringe Personalressourcen und finanzielle Mittel verfügen, müssen solche Konzepte hohe Anforderungen an Robustheit, störungsfreien Betrieb und eine gute Regelbarkeit bzw. Automatisierbarkeit aufweisen.

Im Rahmen der Studie „Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien“, die im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr vom Ingenieurbüro BIOS Obernberger & Narodslawsky OEG, Graz in Zusammenarbeit mit der

BEWERTUNG VON TECHNOLOGIE, WIRTSCHAFTLICHKEIT UND UMSETZUNG

In der Studie des Ingenieurbüros BIOS werden dezentrale Biomasse-KWK-Technologien hinsichtlich ihrer Technologie, ihrer Wirtschaftlichkeit sowie ihrer Einsetzbarkeit für verschiedene Anwendungsfälle bewertet.

Außerdem wurden im Rahmen der Studie die möglichen Potentiale für den Einsatz von Biomasse-KWK-Technologien in Österreich erhoben und zukünftige Umsetzungsstrategien entwickelt. Es wurden gezielt dezentrale Biomasse-KWK-Technologien untersucht, die vorwiegend für den Leistungsbereich bis 2 MW_{el} geeignet erscheinen. Bei der Betrachtung der verwendeten Biomasse wurde der Schwerpunkt auf die feste Biomasse, vor allem Holz, gelegt.

TECHNOLOGISCHE BEWERTUNG

Die untersuchten **Systeme** wurden einer detaillierten Stärken-Schwächenanalyse mit Blick auf folgende Kriterien unterzogen:

- Beschreibung der jeweiligen Technologie
- Rahmenbedingungen für die Anbindung an eine Biomassefeuerung
- mögliche Leistungsgrößen und Betriebsparameter
- erzielbare elektrische Wirkungsgrade und Gesamtanlagenwirkungsgrade
- Teillastverhalten der Anlage
- Regelbarkeit bzw. Automatisierbarkeit
- Ausgereiftheit der Technologie
- Betriebs- und Wartungsaufwand
- Lebensdauer und Robustheit
- mit der Anlage verbundene Emissionen
- spezifische Investitions- und Stromerzeugungskosten

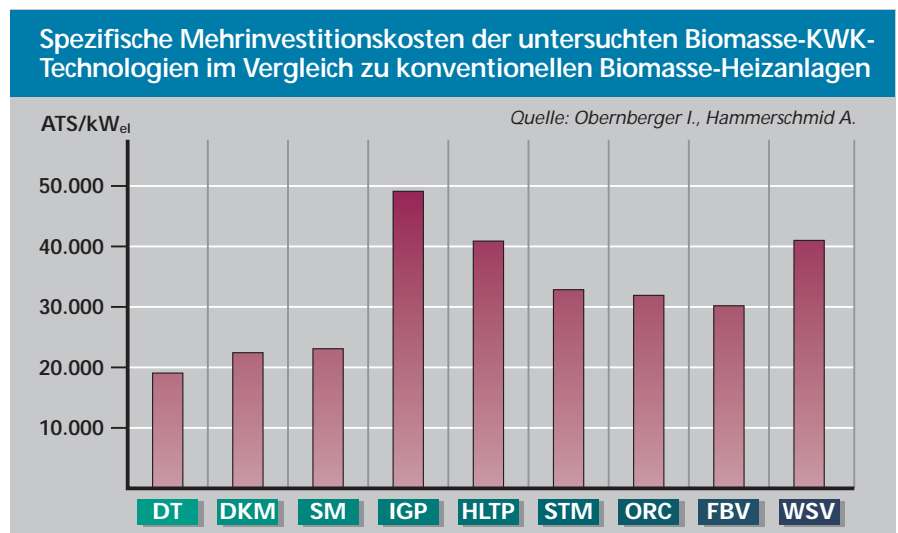
WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG

Hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit wurden die Biomasse-KWK-Prozesse nach zwei unterschiedlichen Ansätzen bewertet. Zum einen wurden die spezifischen Investitions- und Stromerzeugungskosten auf allgemeiner Basis ermittelt und mit den derzeitigen österreichischen Stromeinspeise- und Bezugstarifen verglichen, zum anderen wurden in Fallbeispielen für einige Prozesse und Anwendungsfälle dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnungen erstellt und diese mit Hilfe von Kennzahlen bewertet. Die Stromerzeugungskosten hängen hauptsächlich von der elektrischen Jahresvolllaststundenzahl, dem Brennstoffpreis, der Investitionsförderung und von der Anlagengröße ab. Die erreichbare Jahresvolllaststundenzahl hat dabei den größten

Einfluss. In den Fallbeispielen wurde ein Stirlingmotorprozeß in einem Fernheizwerk, ein Dampfschraubenmotorprozeß in einem mittelgroßen Sägewerk, ein ORC-Prozeß in einem mittelgroßen Holzverarbeitenden

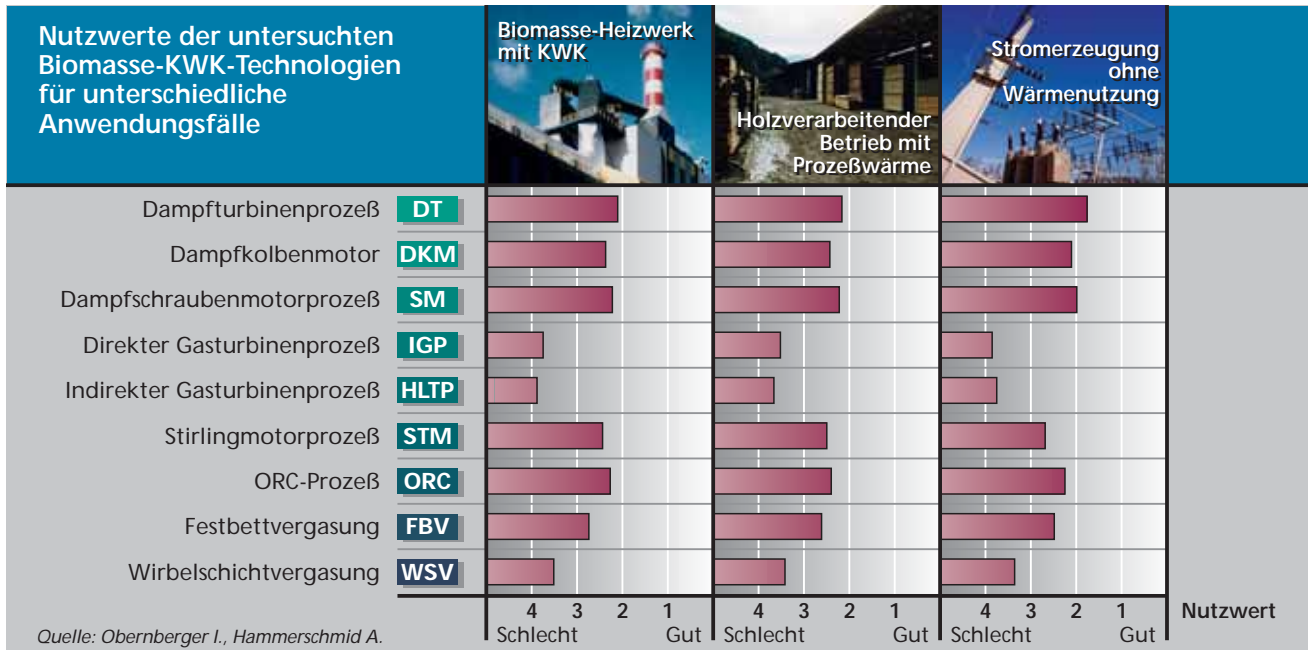
Folgende **Systeme** wurden untersucht:

- DT** Dampfturbinenprozeß
 - DKM** Dampfkolbenmotor
 - SM** Dampfschraubenmotorprozeß
 - IGP** direkter (inverser) Gasturbinenprozeß
 - HLTP** indirekter Gasturbinenprozeß (Heißluftturbine)
 - STM** Stirlingmotorprozeß
 - ORC** ORC-Prozeß (Organic Rankine Cycle)
- Vergasung mit nachgeschalteter Nutzung des Produktgases in Gasmotoren oder Gasturbinen:
- FBV** Festbettvergasung
 - WSV** Wirbelschichtvergasung



Einfluss. Die Dampfprozesse sollten mindestens mit 4.000 Volllaststunden pro Jahr betrieben werden, um Stromerzeugungskosten von unter 1 ATS/kWh_{el} zu erreichen (bei einer angenommenen Investitionskostenförderung von 30 % und einem Brennstoffpreis von 15,0 g/kWh). Beim ORC-Prozeß liegt diese Grenze derzeit bei etwa 5.000 h/a. Alle anderen Technologien sollten mit noch höheren Jahresvolllaststunden

Betrieb und ein Festbettvergasungsprozeß mit Gasmotor in einem Fernheizwerk untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß bei den derzeitigen Stromeinspeisetarifen und ohne Investitionsförderungen ein wirtschaftlicher Betrieb kaum realisierbar erscheint. Allerdings würde eine Investitionsentscheidung bei erhöhten Tarifen und Förderungen für alle untersuchten Fallbeispiele sinnvoll werden. Dabei



erzielen die beiden KWK-Anlagen mit Prozeßwärmenutzung (Sägewerk mit Dampfschraubenmotor und Holzverarbeitender Betrieb mit ORC-Einheit) aufgrund der sehr hohen Auslastung wirtschaftlich die besten Ergebnisse. Die günstigsten Technologien erreichen derzeit schon spezifische Mehrinvestitionskosten (Kosten der Stromerzeugung als Mehrkosten im Vergleich zu einer Biomasse-Heißwasseranlage mit gleicher Nutzwärmeleistung) von ca. 20.000 ATS/kW_{el}. Je nach Rahmenbedingungen sind damit spezifische Stromerzeugungskosten aus Biomasse-KWK-Anlagen ab etwa 0,5 ATS/kWh_{el} möglich.

NUTZWERTANALYSE

Im Rahmen einer Nutzwertanalyse wurde versucht, die Einsetzbarkeit der einzelnen Biomasse-KWK-Technologien für verschiedene Anwendungsfälle zu evaluieren. Die ausgewählten Anwendungen decken ein breites Spektrum der möglichen Einsatzbereiche ab:

- Biomasseheizwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung
- Stromerzeugung in Holzverarbeitenden Klein- und Mittelbetrieben mit Prozeßwärmenutzung
- Stromerzeugung ohne Wärmenutzung

Es wurden dabei sieben Bewertungsfaktoren (Anlagendaten, Betriebsverhalten, Regelungstechnik, Instandhaltung, Ökologie, Entwicklungsstand, Kostenstruktur) bestimmt und diese

wiederum in bereichsrelevante Unterkategorien unterteilt, so daß sich 19 zu bewertende Parameter ergaben.

Die Gewichtungen wurden gemeinsam mit F&E-Institutionen, Planern und Herstellern durchgeführt, um eine möglichst objektive Beurteilung zu erhalten. Die untersuchten Technologien wurden schließlich für jeden Parameter nach dem Schulnotensystem beurteilt. Der Nutzwert ergibt sich dadurch, daß für jeden Anwendungsfall und jede Technologie die einzelnen Noten mit den Gewichtungen multipliziert und aufsummiert wurden.

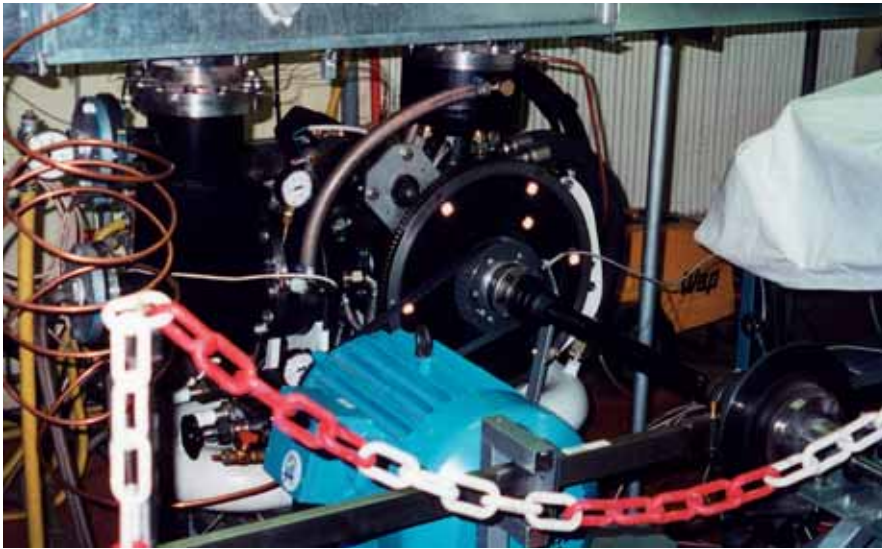
Die Grafik zeigt eine Zusammenfassung der Bewertung der Technologien für die drei Anwendungsfälle. Gute Bewertungen für alle Anwendungsfälle erreichen die Dampfprozesse und der ORC-Prozeß, die damit flexibel einsetzbar sind und ein hohes Anwendungspotential eröffnen. Der Stirlingmotor-Prozeß erscheint speziell für den Einsatz in Biomasse-Heizwerken (zur Eigenstromabdeckung) von großem Interesse. Der inverse Gasturbinenprozeß, der Heißluftturbinenprozeß und die Wirbelschichtvergasung weisen eher schlechte Bewertungen für alle drei Anwendungsfälle auf, was auf ihren noch niedrigen Entwicklungsstand, die hohen Kosten sowie die hohe Anlagenkomplexität zurückzuführen ist. Die Festbettvergasung mit Gasmotor ist prinzipiell für dezentrale Biomasse-KWK-Anlagen interessant, ist zur Zeit aber technologisch noch nicht ausgereift.

ZIELSETZUNGEN

1998 wurde im neuen österreichischen Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz (EIWOG) festgehalten, daß bis zum Jahr 2005 der Anteil des elektrischen Stroms aus erneuerbaren heimischen Energien (ohne Wasserkraft) 3% der an Letztverbraucher abgegebenen Strommenge betragen soll. Dies würde einer Strommenge von rund 1.500 GWh/a entsprechen, was etwa 10% der heute in österreichischen KWK-Anlagen erzeugten Strommenge gleichkommt.

Der Biomasse werden unter den erneuerbaren Energieträgern die größten Potentiale bezüglich der Stromerzeugung zugeschrieben. Unter der Annahme, daß mit Biomasse KWK-Anlagen insgesamt 80% des EIWOG-Zieles erreicht werden sollen und diese Anlagen eine durchschnittliche elektrische Jahresvolllaststundenzahl von 4000 h/a aufweisen, wäre dafür eine gesamte installierte elektrische Leistung von 300 MW_{el} notwendig. Berücksichtigt man die Planungs- und Vorlaufzeiten für KWK-Projekten, so zeigt sich, daß ein großer Handlungsbedarf gegeben ist, um diese Zielsetzung zu erreichen.

PROJEKT: STIRLING-HEIZKRAFTWERK



Stirlingmotorprüfstand bei JOANNEUM RESEARCH, Graz
Versuchsordnung, die aus der Biomassefeuerung, dem in den Rauchgaskanal eingebauten Versuchs-Stirlingmotor und einem Warmwasserkessel besteht.

■ Mit der Entwicklung eines mit Holz betriebenen Stirling-Kleinkraftwerkes zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung beschäftigt sich seit mehreren Jahren ein Projekt des Instituts für Energieforschung, Joanneum Research, das vom BMWV mitfinanziert wird. In einer ersten Phase wurden die verschiedenen Möglichkeiten für die Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis von fester Biomasse untersucht. Während bei großen Leistungen Dampfkraftanlagen und ORC-Prozesse sinnvoll erscheinen, sind Heißgasmotoren nach dem Stirlingprinzip im kleinen Leistungsbe-
reich unter 500 kW_{el} vorteilhaft.

Zielsetzung der zweiten Phase des Projekts waren die Konstruktion, der Bau und der Test eines Stirlingmotors für den Einsatz bei Biomassefeuerungen zur Stromerzeugung. Die in solchen Heizkraftwerken erzeugte elektrische Energie kann zur Versorgung dezentraler elektrischer Verbraucher, vor allem zur Eigenstromversorgung eingesetzt werden. Auch die Ladung von Fahrzeugakkus für künftig verstärkt eingesetzte Elektrofahrzeuge könnte eine wichtige Versorgungsaufgabe von dezentralen Biomasse-Heizkraftwerken werden.

In Phase II sollte ein passendes Konzept entwickelt und eine Stirling-Versuchsanlage zur Wärme- und Kräfteerzeugung realisiert werden. Für den Motortest und zur Messung der Leistung und der Effizienz wurde bei Joanneum Research in Graz ein **Prüfstand mit einer Meßanlage** errichtet.

Die Bauart nach dem A-Typ-Stirlingmotor wurde gewählt, weil damit für kostenbestimmende Teile des Motors Serienprodukte verwendet werden konnten. Für den Versuchsmotor wurde ein KFZ-Kurbelgehäuse mit Kurbeltrieb ausgewählt. Die spezifischen Stirlingmotorkomponenten, d.h. der Erhitzer, der Motorkühler, der Regenerator, die Zylinder, die Kolben mit den Kolbendichtungen und die Kolbenstangen sowie die wassergekühlten Stangendichtungen wurden neu entwickelt. Der Versuchsmotor wurde in eine vorhandene Holzhackgutfeuerung mit einer Brennstoffwärmeleistung von ca. 50 kW integriert. Eine automatische Meßwerterfassungsanlage ermöglichte die Aufzeichnung von Datenreihen zur Analyse des Stirlingprozesses. Innerhalb der Projektlaufzeit war der Stirlingmotor insgesamt ca. 100 Stunden in Betrieb. Der Stirlingmotor sollte bei 1.500 U_{pm} und 40 bar Ladedruck

mit dem Arbeitsgas Luft (Stickstoff) ca. 4 kW bei einem Wirkungsgrad von 21 % erreichen. Bei 21 bar Ladedruck und 600 U_{pm} wurden 2,6 kW Wellenleistung bei einem Wirkungsgrad von 23 % festgestellt. Als maximale Wellenleistung wurde innerhalb der Projektlaufzeit 2,9 kW bei 28 bar Ladedruck gemessen. Bezogen auf das Hubvolumen des Arbeitskolbens bedeutet das eine spezifische Stirlingmotorleistung von 3,45 kW/Liter. Durch Steigerung des Ladedrucks bis zum Auslegungspunkt (40 bar) könnten ca. 3,5 kW Wellenleistung (spezifische Stirlingmotorleistung von 4,2 kW/Liter) erreicht werden.

Die Zielsetzung der Phase II wurde mit dieser Versuchsreihe erreicht. Verbesserungspotentiale, die einerseits Leistungssteigerungen ermöglichen und andererseits die Betriebssicherheit erhöhen, konnten identifiziert werden. Im Rahmen der dritten Phase wurden Partnerschaften für den Bau und die Anwendung der Stirling-Heizkraftwerktechnik bei Biomassefeuerungen aufgebaut. In der Phase IV wird nun mit Industriebeteiligung ein 30 kW-Stirlingmotor gebaut und in einem Biomasse-Fernheizwerk eingesetzt. Der Stirlingmotor wird als Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) verwendet. Würden alle Biomasse-Fernheizwerke in Österreich mit einer solchen WKK ausgerüstet werden, so könnte damit bereits ein bedeutender Teil des EIWOG-Zieles erreicht werden.

POTENTIALE UND STRATEGIEN



Dampfschraubenmotoranlage mit einer elektrischen Nennleistung von 250 kW_{el}

■ Typische Anwendungsfälle für Biomasse KWK-Anlagen sind holzverarbeitende Betriebe, Nah- bzw. Fernheizwerke, Industriebetriebe mit hohem

Prozeßwärmebedarf sowie die Zuführung von Biomasse in bestehenden Kohlekraftwerken. Für alle diese Anwendungsfälle bestehen in Österreich sehr große Umsetzungspotentiale. Auch eine 100%-ige Deckung des durch die Vorgaben des EIWOG zusätzlich entstehenden Bedarfs an fester Biomasse wäre möglich; in vielen Fällen ersetzen Biomasse-KWK-Anlagen konventionelle Biomasse-Heißwasserkessel, so daß nur der Mehrbrennstoffbedarf für die Stromerzeugung relevant ist.

Um die Realisierung von Biomasse-KWK-Projekten zu forcieren, bieten

sich zwei Strategien an. Zum einen müssen die Bundesländer Mindesttarife für die Stromeinspeisung aus erneuerbaren Energiequellen in Elektrizitätsnetze festlegen. Zum anderen können über die Umweltförderung in Österreich die Investitionskosten von umweltrelevanten Projekten (z.B. die Substitution von fossilen durch erneuerbare Energieträger) gefördert werden. Die Vergabe von Fördermitteln wird in Zukunft verstärkt über Ausschreibeverfahren erfolgen, wodurch ein Druck zur Senkung der Investitions- und Stromerzeugungskosten gegeben ist und wettbewerbsfähigere Anlagen erwartet werden können.

Z A H L E N / D A T E N / F A K T E N

PROJEKTTRÄGER / PUBLIKATIONEN

Die Studie „Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien“ wurde im Auftrag des BMWV vom Ingenieurbüro BIOS, Graz (Ingwald Oberberger, Alfred Hammerschmid) in Zusammenarbeit mit der Energieverwertungsagentur Wien (Herbert Lechner, Alois Geisslhofer) erstellt.

Diese Studie ist als Band 4 der Schriftenreihe „Thermische Biomassenutzung“, ISBN 3-7041-0261-X, dbv-Verlag der Technischen Universität Graz erschienen und kann unter folgender

Adresse bestellt werden (Kosten ÖS 385,- + ÖS 60,- Versandkosten):
Ingenieurbüro BIOS
Sandgasse 47, A-8010 Graz
Tel.: 0316/48 13 00, Fax.: 0316/48 13 00-4
e-mail: oberberger@glvt.tu-graz.ac.at

Das Projekt „Entwicklung eines mit Holz betriebenen Stirling-Kleinkraftwerkes zur dezentralen Strom- und Wärmeerzeugung“ wird vom Institut für Energieforschung, Joanneum Research (Projektleitung: E.Podesser) durchgeführt und wird finanziert vom

BMWV sowie vom Land Steiermark, dem Verband der Elektrizitätswerke Österreichs und der STEWEAG.

Der Endbericht zur Phase II des Projekts wurde in der Reihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ des BMWV publiziert und ist erhältlich bei:
PROJEKTFABRIK,
Nedergasse 23, A-1190 Wien.

Eine vollständige Liste der Schriftenreihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ findet sich auf der FORSCHUNGSFORUM HOMEPAGE:
<http://www.forschungsforum.at>

FORSCHUNGSFORUM im Internet:

<http://www.forschungsforum.at>

IMPRESSUM

FORSCHUNGSFORUM informiert über ausgewählte Projekte im Rahmen des Leitschwerpunktes „Zukunftsfähige Energie- und Umwelttechnologien“ des BMWV. Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Wissenschaft und Verkehr; Abteilung Öffentlichkeitsarbeit, Leitung: Dr. W. Fingernagel; A-1014 Wien, Minoritenplatz 5. Inhaltliche Koordination: Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien, Leitung: Dipl.Ing. M. Paula. Fotos und Grafiken: Joanneum Research, Ingenieurbüro BIOS, Graz. Redaktion: Projektfabrik, A-1190 Wien, Nedergasse 23. Gestaltung: Grafik Design Wolfgang Bledl. Herstellung: AV-Druck, A-1030 Vienna, Faradaygasse 6.

► FORSCHUNGSFORUM erscheint mindestens vierteljährlich und kann kostenlos abonniert werden bei:
Projektfabrik, A-1190 Wien, Nedergasse 23.