

# Kraft-Wärme-Kopplung in der Gebäudetechnik

H.Kabisch, Berlin

**Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) findet heute vor allem ihren Einsatz in Blockheizkraftwerken (BHKW). Es stehen jedoch neue Technologien bereit, mit denen Primärenergie verbrauchernah bis in den Wohnungsbereich vor Ort umgewandelt wird. Damit wird die Kraft-Wärme-Kopplung auch für die Gebäudetechnik interessant.**

## 1 In der Praxis bewährt: BHKW

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bietet sich überall dort an, wo möglichst zeitgleich zum Strombedarf Wärme benötigt wird. Empfänger können Nah- und Fernwärmenetze zur Versorgung beliebig großer Wohn- und Industriegebiete aber auch einzelne Gebäude oder Wohnungen sein.

Die Industrie stellt KWK-Systeme beliebiger Leistung bis weit in den MW-Bereich hinein zur Verfügung. Voraussetzung ist jedoch eine verbrauchernahe Installation, mit der Verluste beim Wärmetransport minimiert werden – ggf. sogar bis in den Wohnungsbereich.

KWK ist dementsprechend eine dezentrale Energieerzeugung. Dominierendes Element sind BHKW, deren elektrischer Wirkungsgrad

bei 30 bis 40 % liegt und deren typischer Leistungsbereich bis zu 1 MW reicht.

Sie vereinen Verbrennungskraftmaschine, Stromerzeugungsgenerator und Wärmetauschersystem zur Rückgewinnung der Verlustwärme mit einer hydraulischen Vorrichtung zur Wärmeverteilung. Integriert sind diverse elektrische Schalt- und Steuereinrichtungen für Stromverteilung und Energiemanagement (Bild 1).

Als Antriebsmotoren werden Ottomotoren für den Gasbetrieb, Dieselmotoren für den Heizölbetrieb, seltener auch Zündstrahlmotoren für den Mischbetrieb von Gas und Heizöl verwendet. Diese Motoren sind starr oder über eine Kupplung mit dem Generator verbunden und gemeinsam auf einen Rahmen montiert.

In der Regel werden bei kleineren Modulen (bis ca. 200 kW elektrischer Leistung) die Anlagen kompakt in einem Schallschutzgehäuse integriert, so dass die BHKW anschlussfertig als eine Einheit herzustellen sind. Mit integriert werden auch die Wärmetauscher, die das Abgas, den Motor, das Schmieröl und häufig auch den Generator kühlen und über

einen separaten Wasserkreis die so ausgekoppelte Wärme ihrem Nutzen zuführen.

BHKW sind aufgrund ihrer modularen Bauweise parallel schaltbar und können damit die Zuverlässigkeit und/oder Wirtschaftlichkeit des Energieversorgungssystems erhöhen bzw. bei wachsendem Bedarf die schrittweise Leistungsverstärkung sichern (Bild 2). Angeregt durch die erste weltweit wirkende Erdöl-/Erdgas-Krise wurde bereits 1973 bei den Stadtwerken in Pinneberg eine Wärmekraftanlage mit drei gasmotorisch angetriebenen BHKW in Betrieb genommen.

Etwa 20 Jahre später erreichten die KWK-Systeme eine Laufzeit von jeweils mehr als 100 000 Stunden. In den folgenden Jahren entwickelte sich ein breites Sortiment an BHKW hoher Zuverlässigkeit. Dennoch hat Deutschland nach Einschätzung des Bundesverbandes KWK ein erhebliches Defizit. Während der KWK-Anteil an der Stromerzeugung bei zehn Prozent liegt, haben die Niederlande, Finnland und Dänemark 35 – 50 % erreicht.

## 2 Chancen in der Gebäudetechnik

Auf ein großes, bisher nur begrenzt erschlossenes KWK-Potential zielen immer mehr Systemhersteller im Alt- und Neubau. Dabei steht die Sanierung von Altbauten wegen der gesetzlichen Vorgaben zum Austausch alter Heizsysteme an vorderster Stelle. Alternativen zur hochentwickelten Brennwerttechnik sind Mini-BHKW ab 5 kW, die in der Regel problemlos im Keller eines Mehrfamilienhauses unterzubringen sind.

Für größere Zweckbauten empfehlen sich leistungsstärkere BHKW bis zur 100 kW-Grenze.

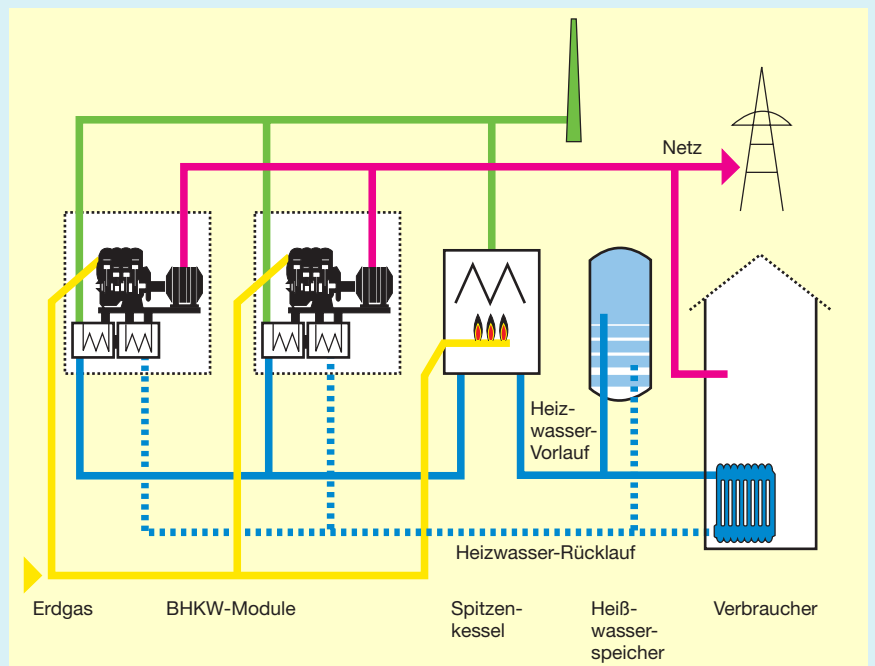
### Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch, Fachjournalist, Berlin.



1 BHKW-Modul der Baureihe KWK 100, bestehend aus neun Typen im Leistungsbereich von 70 bis 122 kW<sub>el</sub>

2 Funktionsschema einer BHKW-Anlage mit zwei BHKW-Modulen

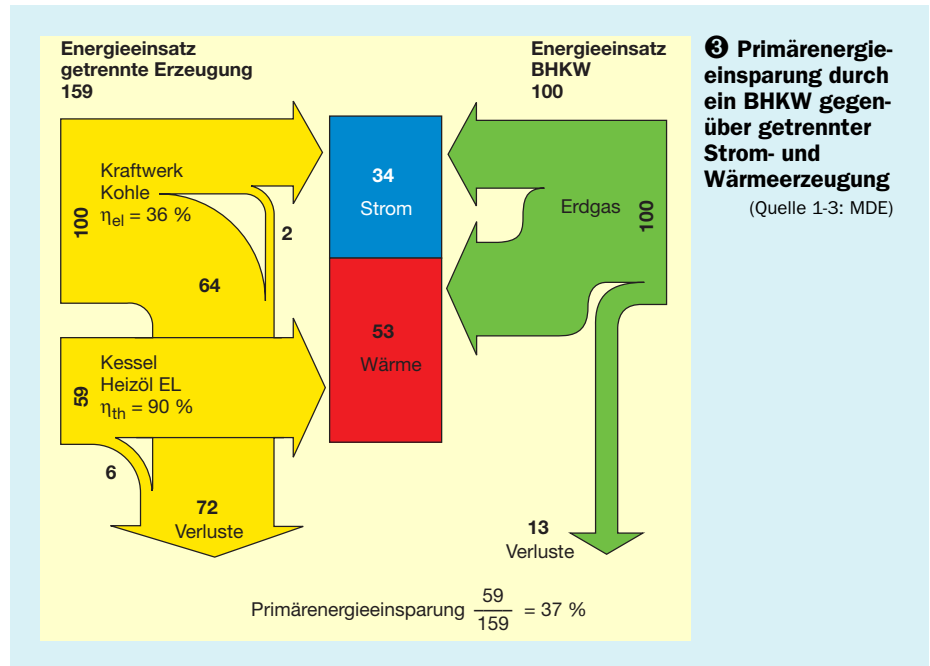


Ursache für den Einsatz der teuren BHKW ist nicht nur ihre Spitzenstellung unter den CO<sub>2</sub>-armen Energiewandlern. Wichtig ist auch der in der Regel begrenzte Amortisierungszeitraum, welcher angesichts steigender Strompreise vermutlich weiter verkürzt wird. Voraussetzung dafür ist nach heutiger Gesetzeslage ein hoher Eigenanteil an selbst verbrauchtem Strom. Ein Weg zur Maximierung des selbstverbrauchten Stromanteils ist die Einbeziehung von gewerblichen Unternehmen mit hohem Stromverbrauch. Auch die Installation in Gebäuden, in denen die KWK-Anlage im Dauerbetrieb die Ersatzstromversorgung bedient, kann den Amortisationszeitraum verkürzen. Das gilt insbesondere für Krankenhäuser, Hotels, Schwimmbäder, Verwaltungsgebäude und andere Bauvorhaben, die auf Grund höherer Sicherheitsanforderungen eine Ersatzstromanlage haben müssen oder eine solche wünschen. In anderen Fällen erscheint es sinnvoll, ganze Gebäudekomplexe über eine gemeinsame Energiezentrale kostenoptimal zu steuern. Auch hier können mehrere KWK-Systeme installiert werden.

In vielen Fällen besteht auch ein Bedarf an Kälteenergie, der z. B. durch die Nutzung überschüssiger Wärmeenergie als Antrieb für die Kältemaschine abgedeckt werden kann. Das Temperaturniveau der BHKW mit Verbrennungsmotoren liegt im Bereich zwischen 90 °C und 110 °C und wird in der Regel ausreichen. Nach dem derzeitigen Stand der Entwicklungen dürfte allerdings das Temperaturniveau der künftigen BHKW mit Niedertemperatur-Brennstoffzellen vom Typ PEM zu niedrig liegen.

### 3 Auf dem Weg zur Erneuerbaren Energiequelle

Die Umweltfreundlichkeit des BHKW ist bereits durch die im Bild 3 beispielhaft gezeigte Einsparung an Primärenergie gegeben. Verglichen wird ein mit Erdgas motorisch angetriebenes BHKW mit einem kohlebefeuerten Kondensationskraftwerk (siehe oben). Dabei wird die Wärme von einem getrennt betriebenen Heizöl-Kessel geliefert. Die Primärenergieeinsparung beträgt 37 %. Zusätzlich werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch dadurch reduziert, dass das Erdgas als Antriebsenergie wesentlich weniger Kohlendioxid emittiert als Kohle und Heizöl. Experten erwarten eine Reduktion klimaschädlicher Gase durch KWK je nach verwendeter Technologie um bis zu 50 %. Noch mehr verbessert sich die Bilanz, wenn umweltfreundliche Biomasse oder wie in Nordrhein-Westfalen und im Saarland Grubengas aus stillgelegten Bergwerken bzw. allgemein Deponiegas genutzt wird. Gleichzeitig ergeben sich auf Grundlage der zurzeit geltenden Fassung des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) Möglichkeiten zur finanziellen Förderung. Im Vorjahr wurden beispielsweise BHKW mit einer Gesamtleistung von 110 MW gefördert.



### 4 Eine Technologie mit Zukunft: das Stirling-BHKW

Abgesehen vom leistungsstarken KWK-Kraftwerk ist das beschriebene BHKW – im Folgenden als konventionell bezeichnet – auf dem Markt bisher die einzige Technologie zur gemeinsamen Gewinnung von Strom und Netzwärme. Seine dominante Position dürfte aber schon bald durch andere Technologien schwinden. Sie eröffnen der KWK neue Möglichkeiten im Gebäude und werden durch ein besseres Preis-Leistungsverhältnis finanzielle Förderprogramme überflüssig machen. Die neuen Technologien sind Basis für mehrere Prognosen, die der KWK im unteren Leistungsbereich – vielfach auch als Mikro Power (Micro Power) bezeichnet – ein überdurchschnittliches Wachstum vorhersagen. Verbunden damit ist es ein gewerkeübergreifendes Geschäftsfeld, das sich dem Handwerk anbietet. Zu diesen neuen Technologien gehört das Stirling-BHKW (benannt nach dem Erfinder des antreibenden Heißluftmotors). Es nutzt außerhalb des Motors (extern) gewonnene Wärme als Antriebsenergie eines KWK-Systems. Sein Vorteil: Externe Verbrennung ermöglicht die Verwendung nahezu beliebiger Brennstoffe wie Gas, Holz, Öl etc. und erreicht dabei im elektrischen Leistungsbereich bis 10 kW einen Wirkungsgrad von gegenwärtig bis zu 28 %. In der Perspektive werden Leistungsbeispiele bis 40 kW und Wirkungsgrade bis zu 40 % erwartet. Verbunden damit werden durch den Wegfall von Verschmutzungen des Motorinnenraumes geringere Geräusch- und Abgasemissionen erwartet. Gelingt im Rahmen der Weiterentwicklung auch der Einsatz von Biomasse, würde dies dem Stirling-System zu einem Alleinstellungsmerkmal gegenüber allen anderen konkurrierenden Technologien verhel-

fen. Bereits im Jahr 2001 wurde in Deutschland das nach Herstellerangaben erste Stirling-BHKW für 2 bis 9 kW serienreif vorgestellt (Bild 4). Es wird mit Erdgas befeuert und in Kürze durch einen zweiten Typ ergänzt, der mit Pellets beheizt wird und dazu einen Holzvergaser erhält. Die Kommerzialisierung wird für 2004 angestrebt, wobei Finanzierungsprobleme den Ablauf erneut verzögern könnten. Haupteinsatzgebiet des Stirling-BHKW ist der dezentrale Einsatz in Gebäuden aller Art.

### 5 Die Dampfmaschine ist zurück

Zu den Mitbewerbern des Heißluftmotors gehört u.a. die gute alte Dampfmaschine. Das gilt nicht für die heute verfügbaren Motoren ab 20 kW und auch nicht für die noch leistungsstärkeren Dampfturbinensysteme. Der Konkurrent heißt SteamCell und wurde bereits im März auf der international größten Messe für Gebäudetechnik in Frankfurt/Main erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Prototyp wurde im Gehäuse einer regulären wandhängenden Heiztherme präsentiert (Bild 5). Mit der SteamCell können Heizung, Warmwasser und Strom unabhängig aus einer kompakten Einheit geliefert werden. Dabei zeichnet sich das System besonders durch seine Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit aus. Sie unterschreitet die Anforderungen signifikanter Gütezeichen (z. B. Blauer Engel) und leistet damit einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz, so die Aussage der Berliner Enginon AG. Kern des KWK-Systems ist ein Kreiskolben-Dampf-Motor. Er wird durch einen außen direkt am Kolbenraum angeordneten gesonderten Verbrennungsraum mit Porenbrenner ergänzt, der während der Expansion des Dampfes Wärme liefert. Der Porenbrenner ermöglicht u.a.

niedrige Verbrennungstemperaturen, so dass keine Stickoxyde entstehen und auch CO-Emissionen vermieden werden. Ein weiterer Vorteil des Porenbrenners ist seine Vielstofffähigkeit. Er kann zwar keine feste Biomasse verarbeiten, sichert aber die Betriebsfähigkeit der SteamCell mit praktisch allen gasförmigen oder verdampfbaren Kraftstoff-Luft-Gemischen: Rapsöl, Heizöl, Benzin, Diesel, Propan, Erdgas, Biogas, Methanol und Wasserstoff. Im Gegensatz zur Mehrzahl der übrigen KWK-Systeme (einschl. Brennstoffzellen) stellt die SteamCell elektrische und thermische Energie in einem frei steuerbaren Verhältnis zwischen null und dem Maximalwert zur Verfügung (eine begrenzte Steuerung ist bisher lediglich mit dem konventionellen Mini-BHKW ecopower möglich). Ein praktisch unbegrenzter Modulationsbereich mit einer maximalen elektrischen Leistung von 0 bis 6 kW und einer thermischen Leistung von 0 bis 25 kW erlaubt eine Optimierung der Energieerzeugung unter wirtschaftlichen Aspekten. Dabei kann wie bei anderen KWK-Systemen ein Pufferspeicher installiert werden. Da die SteamCell im Kaltstart bereits nach weniger als 30 sec betriebsbereit ist und dann durch einen kleinen Brenner in diesem Zustand verbleibt, reagiert das System im ms-Bereich. Es ist daher auch als Teil eines virtuellen Spitzenlastkraftwerkes geeignet.

Das KWK-System ist genauso einfach ins Haus einzubinden wie ein herkömmliches Heizgerät und kann bei Bedarf auch einfach nur Wärme produzieren, ohne das gleichzeitig Strom erzeugt wird. Sie kann somit anstelle herkömmlichen Heizkessels oder einer Therme eingesetzt werden. Kompakte Abmessungen und ein geringes Gewicht ermöglichen den Einsatz als wandhängendes Gerät. Dieser Aufbau erlaubt die Erzeugung von Strom auch ohne Versorgungsnetz und sichert so eine Ersatzstromversorgung. Nach Ansicht des Entwicklungsträgers sind bei optimalen Bedingungen Energiekosten im Wert von bis zu 5000 Euro pro Jahr einzusparen und damit kurze Amortisationszeiten möglich.

Das BHKW-System wurde von der in Berlin ansässigen Enginon AG entwickelt. Sie ist Innovationsführer und Lieferer der Kernkomponenten des Gerätes. Bei letztgenannter Aufgabe wird sie finanziell gestützt durch namhafte Energiekonzerne wie Europas Privater Nr.1 E.ON, MVV und Schneider Electric. Gebrauchsfertige Endprodukte fertigt wahrscheinlich die Heizungs- und Automobilindustrie. Dafür spricht die Anwendungsbreite der SteamCell, die nicht nur in Gebäuden fest installiert wird. Fahrzeuge, Yachten und tragbare Stromerzeuger gehören zu den Einsatzbereichen. Für sie ist die große Breite an einsetzbaren Kraftstoffen besonders günstig. Die Markteinführung ist für 2005 vorgesehen und sollte auch vom Elektrohandwerk rechtzeitig in das Geschäftsfeld „Gebäudetechnik“ eingeordnet werden. Schließlich ist das in Frankfurt vorgestellte KWK-System mit Dampfmotor möglicherweise eine echte Alternative zur Brennstoffzelle –

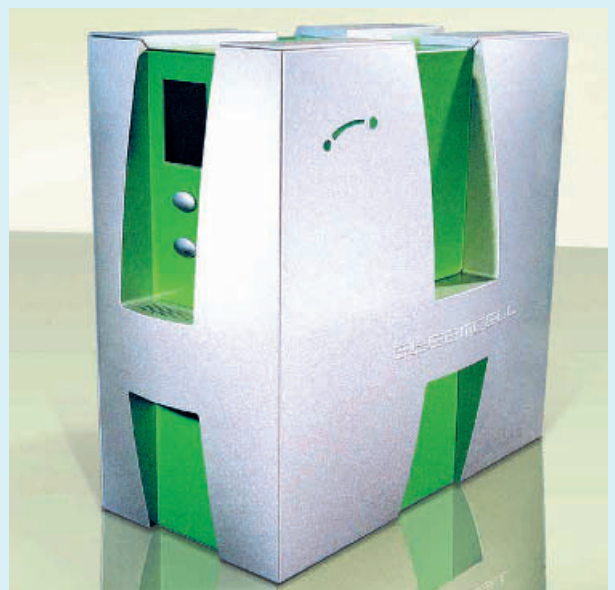
**4 Stirling-BHKW in den Abmessungen 1280x700x980 mm d mit einem Gewicht von 450 kg. Elektrische Leistung 2–9,5 kW, thermische Leistung 8–26 kW, Gesamtwirkungsgrad 92–96 %**

(Quelle: Solo Stirling-Engine)



**5 KWK mit patentiertem Dampfmotor-system für die Installation im Wohnhaus**

(Quelle: Enginon AG)



vorausgesetzt, dass tatsächlich elektrische Wirkungsgrade von 40 % dauerhaft erreicht werden und die Seriengeräte den Kosten-Gebrauchswertvergleich mit Brennstoffzellen-BHKW bestehen. Zu berücksichtigen ist auch, dass das Berliner Forschungszentrum an weiteren Leistungsklassen und Anwendungsmöglichkeiten der Dampftechnologie arbeitet.

**6 Brennstoffzellen-BHKW noch in diesem Jahrzehnt**

Weit fortgeschritten ist die Entwicklung der ersten Generation von Brennstoffzellen (BZ), die sich nach Ansicht der Experten in den nächsten Jahrzehnten zum vermutlich wichtigsten Strom- und Wärmelieferanten in der dezentralen, verbrauchernahen Energieversorgung entwickeln. Wichtigste Aufgaben sind weiterhin der Nachweis einer dauerhaften Zuverlässigkeit und die Kostensenkung. Die Branche verfolgt das Ziel, die Stromgestehungskosten bis 2010 auf 6 ct/kWh zu reduzieren – im März dieses Jahres waren es 25 ct/kWh für eine in Einzelfertigung hergestellte 250 kW-Anlage. Nach wie vor geht die Friedrichshafener MTU

vom Serienbeginn 2006 aus und gründete dazu unlängst mit der RWE Fuel Cells GmbH ein Joint Venture. Gefertigt wird eine Hochtemperatur-BZ vom System MCFC für eine elektrische Leistung von 230 kW. Hauptabnehmer sind Industriebetriebe, Krankenhäuser, Fernsprezentralen sowie Energieversorgungsunternehmen. Vorteilhaft ist der Verzicht auf einen Reformier, der bei Niedrigtemperatur-BZ notwendig ist. Durch einfache Modifikation ist es möglich, auch Biogas oder andere kohlestoffhaltige Brennstoffe zu nutzen. Eher nachteilig ist die mehrstündige Anheizzeit. Andererseits realisieren Hochtemperatur-BZ einen hohen elektrischen Wirkungsgrad. Sie werden deshalb im öffentlichen Stromversorgungsbereich wie auch in der betrieblichen Energieversorgungsanlage zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt. Im Dauerbetrieb können sie gleichzeitig als Ersatzstromanlage betrieben werden. Eingesetzt in Krankenhäusern, großen Bürogebäuden etc. wird die Abwärme zur Speisung der Kälteerzeuger genutzt. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, mit der hochtemperierten Abwärme eine nachgeschaltete Turbine anzutreiben und auf diesem Weg den elektrischen Gesamtwirkungsgrad um 10–15 % zu erhöhen.

Wesentlich kleinere BZ sind erforderlich, wenn sie in den Keller eines Mehrfamilienhauses, in ein Einfamilienhaus oder eine Wohnung integriert werden. Hier sind Geräte erforderlich, deren elektrische Leistung zwischen 1 bis 6 (extrem 10) kW liegt. Die Entwicklung läuft bekanntlich seit mehreren Jahren, wurde aber ebenfalls noch nicht abgeschlossen. Inzwischen ist der Feldtest erster Vorseriengeräte angelaufen. Insider erwarten, dass sich die Anzahl der in Mitteleuropa installierten Geräte in den nächsten 3 Jahren auf über 1000 erhöht. Parallel dazu haben die Hersteller mit der Schulung der Handwerker begonnen und auch die Richtlinien für Wartung und Service sind überbetrieblich in Arbeit. Festgeschrieben sind staatlicherseits die Förderbedingungen, die denen für konventionelle Mini-BHKW entsprechen. Nennenswerte Marktanteile, die sich betriebswirtschaftlich tragen, werden vor allem die Niedertemperatur-BZ wohl erst ab 2010 erreichen. Deshalb werden die Geschäfte mit konventionellen Mini-BHKW zumindest in diesem Jahrzehnt konkurrenzlos weiter geführt – sofern nicht der Dampfmotor schneller den Markt erobert.

Mikrogasturbinen vorzugsweise für Industrie und Gewerbe Mikrogasturbinen unterscheiden sich von den in Kraftwerken eingesetzten

hauptsächlich durch wesentlich höhere Drehzahlen (ca. 100000 U/min), geringere Wirkungsgrade (el. 30 %, gesamt annähernd 80 %), geringere Leistungsbereiche (vorzugsweise im Angebot 30 bis 200 kW) und damit in Aufbau und Funktion (vgl. **ep** 6/03, S.426). Prinzipielle Vorteile sind die kompakte Bauform (lämgeschützte Unterbringung im Schrank), vibrationsarmer Betrieb, Wartungsintervalle von mindestens 8000 h und damit niedrige Wartungskosten. Im Vergleich zum konventionellen gasmotorisch angetriebenen BHKW sind die CO- und Stickstoff-Emissionen deutlich gemindert. Da die Abgastemperaturen in der Regel zwischen 200 bis 300°C liegen, kann das KWK-System in diesem Bereich auch Prozeßwärme liefern. Alternativ wird die Abwärme zum Antrieb einer Absorptionskältemaschine genutzt. Bevorzugtes Anwendungsgebiet sind Industrieanlagen, große Gebäude und Gebäudekomplexe, bei denen die verbrauchernahe Abdeckung des Wärmebedarfs im Vordergrund steht. Die hohe Temperatur der Abwärme erschließt dabei Temperaturen im Plus- und Minusbereich, die mit konventionellen BHKW nicht erreichbar sind. Die untere Leistungsgrenze von 30 kW lässt aber auch erkennen, dass nicht nur das hohe Wärmepotential den Einsatz in Wohngebieten ohne Gewerbeanteil

begrenzt. Schwerpunkt der Weiterentwicklung ist in Deutschland beispielsweise die Sicherung der Betriebstüchtigkeit der Mikrogasturbine, auch wenn sie mit niedrigsten Methangehalten im Schwachgasbetrieb arbeitet. Ziel ist die effektive Nutzung von Biogas, Grubengas und Deponiegas. Insgesamt sind die bisher in Deutschland installierten Mikrogasturbinen Test- und Demonstrationsobjekte. Die hohen Kosten verhindern gegenwärtig den effektiven Einsatz. In den USA ist sie allerdings weit verbreitet und uneingeschränkt marktfähig.

#### Literatur

- [1] *Stadermann, G.* (Herausgeber): Integration Erneuerbarer Energien in Versorgungsstrukturen, Themen der Jahrestagung 2001. Forschungsverbund Sonnenenergie. Oktoberdruck AG 2002
- [2] *Stadermann, G.* (Herausgeber): Solarkraftwerke, Themen der Jahrestagung 2002. Forschungsverbund Sonnenenergie. Oktoberdruck AG 2003
- [3] *Kabisch, H.*: BHKW contra Brennstoffzelle. Elektropraktiker, Berlin 56(2002)5, S.394–397
- [4] Die Richtung stimmt: Erdgas als Brücke zur idealen Energie. Broschüre, herausgegeben von ASUE, Verlag Rationeller Energieeinsatz
- [5] *Geißler, M.*: Regionale und lokale Handlungsfelder im nationalen Klimaschutzprogramm. Beitrag anlässlich der 4. Berliner Energietage 2003, Themenkomplex KWK-konkret ■