

Blockheizkraftwerke unterstützen umweltfreundlich die Versorgung mit Strom und Wärme

H. Kabisch, Berlin

Blockheizkraftwerke (BHKW) liefern im Unterschied zu anderen dezentralen, alternativen Stromerzeugern nicht nur Strom, sondern oft sogar in erster Linie Wärme, aber auch Kälte. Sie nutzen infolge der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), also der gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme in einem Prozeß, den Brennstoff am besten aus. Deshalb sind und bleiben sie ein unverzichtbarer Bestandteil einer umweltverträglichen Energieversorgung. Sie effektiv zu realisieren, ist deshalb eine gemeinsame Aufgabe von Fachleuten der Heizungs- und Elektrobranchen. Im folgenden wird dazu über technische und wirtschaftliche Aspekte berichtet.

1 Umweltfreundliche Energieversorgung im Nahwärmebereich

Die Stromerzeugung im Großkraftwerk ist zu erheblichen Anteilen an fossile Primärenergieträger wie Kohle und Mineralöl gebunden. Das dabei entstehende Kohlendioxid CO_2 schädigt das Klima. Deshalb ist es Stand der Technik, den CO_2 -Ausstoß zu vermindern, indem der Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Energie durch KWK erhöht wird. Der Nutzungsgrad des Brennstoffes verdoppelt sich etwa gegenüber der alleinigen Gewinnung von Strom in konventionellen Wärmekraftwerken ($\leq 40\%$). Technisch wird das durch die Verwendung der Abwärme möglich.

Setzt man anstelle von Kohle Heizöl oder das heute dominierende Erdgas ein, erhöht sich die Umweltverträglichkeit zusätzlich (Bild 1). Die Verwendung von Biomasse führt zu minimalen Abgabe von Kohlendioxid (s. Abschnitt 2.2).

Inzwischen verfügen viele Städte über zentrale Heizkraftwerke mit KWK. Ihre Leistung beginnt bei 10 bis 20 MW und reicht über die GW-Grenze. Sie speisen in Fernwärmenetze ein. Von 3 kW_{el} bis in den unteren MW-Bereich ergänzen BHKW das Konzept der KWK. Ähnlich wie die bis heute produzierten Stromversorgungsaggregate wird die Mehrzahl der Block-(Motor)HeizKraftWerke über Verbrennungsmotore angetrieben.

BHKW dienen der Stützung der Wärmeversorgung im Nahbereich. Gegenüber der Fernwärmeversorgung sinken die Leistungsverluste und ggf. auch die Investiti-

onskosten. BHKW ergänzen sowohl in Zentren als auch am Rande der Ballungsgebiete die Energieversorgung. Sie empfehlen sich gleichermaßen für Gemeinden unterschiedlichster Größe wie für räumlich begrenzte Objekte (Krankenhäuser, Schwimmbäder, ortsferne Gebäude u. ä.) als eine versorgungssichere, umweltschonende und kostensparende Alternative bzw. zum Ergänzen anderer Strom- und Wärmelieferanten.

2 Aufbau von BHKW

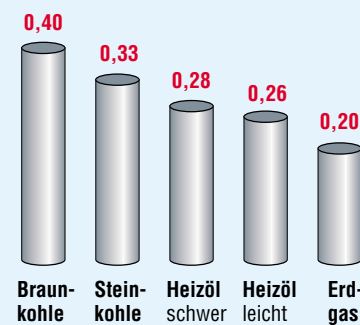
2.1 BHKW im Überblick

Die BHKW-Technik basiert im wesentlichen auf Komponenten, die sich in anderen Bereichen der Elektrotechnik und des Maschinenbaus bewährt haben. Dazu gehören der Verbrennungsmotor, ab 0,5 bis 1 MW zunehmend die Gasturbine und der Generator mit Steuerung und Regelung. Ihre Kombination ist vergleichbar mit einem Stromerzeugungsaggregat, welches zur Notstrom- (auch als rotierende USV größter Leistung), Baustellenversorgung oder zum Speisen netzferner Verbraucher angeboten wird. In ein solches Aggregat werden Wärmetauscher und andere Elemente zur Abführung der Verlustwärme über Kühlwasser integriert. Komplettiert wird das somit entstandene BHKW durch Katalysatoren zum Reduzieren der Schadstoffe im Abgas auf die gesetzlich vorgeschriebenen Werte und ggf. von Kraftstofftanks. Bild 2 zeigt beispielhaft den Aufbau eines Mini-BHKW. Charakteristisch ist die Kompaktbauweise. In der Regel erhalten diese Geräte eine schalldämmende Umhüllung, deren Wirkung durch eingebaute Schalldämpfer unterstützt werden kann. Neben der verbesserten Schalldämmung sowie der Reduzierung von Gewicht und Abmessungen konnte in den letzten Jahren vor allem der

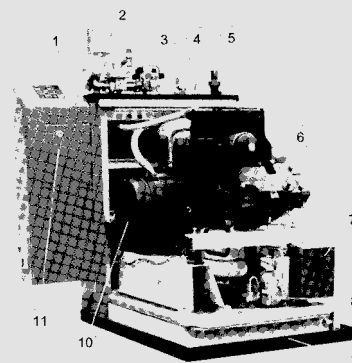
Wartungsaufwand gesenkt werden. Gleichzeitig vervollkommnete sich die Elektrotechnik/Elektronik von der Betriebsüberwachung bis zur Fehlerdiagnose und der Anbindung des Service über Datenfernübertragung. Daß BHKW heute als ausgereifte Produkte gelten, bestätigen die Laufzeiten ohne ständige Beaufsichtigung bis zur Generalüberholung. Sie verdoppelten sich im letzten Jahrzehnt auf 80 000 Betriebsstunden. In Einzelfällen stieg diese Zeit sogar bis auf 100 000 h. Damit werden bei Einhaltung der vorgeschriebenen Wartungszyklen die Laufleistungen eines PKW-Motors um ein Vielfaches übertroffen.

2.2 Antriebsmotore für verschiedenartige Kraftstoffe

Als Antriebsaggregate stehen heute ausgereifte Otto-Motoren in der Variante Magermotor mit elektronischem Motormanagement sowie Dieselmotoren zur Verfügung. Sie verbrennen Erdgas, Diesel-, Erd- oder Rapsöl, Klär- oder Deponiegas, Bio-, Propan-, Holz- oder Flüssiggas.



1 Bildung des Kohlendioxidgases (CO_2) bei der Verbrennung fossiler Energieträger (in kg CO_2/kWh Brennstoffeinsatz)
(Quelle: Deutscher Bundestag)



2 Mini-BHKW in den Abmessungen $72 \times 106 \times 100 \text{ cm}^3$ (B x L x H) für eine Leistung von $5,5 \text{ kW}_{\text{el}}$ und $12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$.
1 Gasmischer, 2 Ansaugschalldämpfer, 3 Gas-Multiblock, 4 Startgasventil, 5 Abgasstutzen, 6 Motor, 7 Zündung, 8 Gasmengenregulierung, 9 Transportsicherung, 10 Generator, 11 Regler und Überwachungseinheit (Quelle: SenerTec)

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist als freier Fachjournalist in Berlin tätig.



③ Deponiegasanlage der Isar-Amper-Werke AG München. BHKW (Bildmitte) 250 kW. Im Vordergrund der Gasanschluß an die darunterliegende Deponie.
(Quelle: Isar-Amper-Werke)



④ Windkraftgestützte Kläranlage. Das in Faultürmen gewonnene Klärgas wird in Behältern gesammelt. Ein vor Ort installiertes BHKW leistet 26 kW_{el} und 78 kW_{th}. Die Wärme wird zur Beheizung der Faultürme genutzt.
(Quelle: Schleswig AG)

Mit der Entwicklung für den Langzeiteinsatz geeigneter Motoren wurde es möglich, das große Potential der Biomasse vor allem in ländlichen Regionen zu nutzen (Bilder ③ und ④). Schätzungsweise ein Viertel der insgesamt installierten Anlagenleistung wird vollständig oder zumindest teilweise damit versorgt. Biomasse gilt als CO₂-neutral, weil das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid in der Wachstumsphase der betreffenden Pflanzen durch Photosynthese in etwa gleicher Menge aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Es entsteht also kein schädigendes CO₂-Gas. Dieses Energiepotential ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft [1]. Nicht nur im ländlichen Bereich, sondern selbst bei der Energieversorgung der Berliner Regierungsbauten kommt Biomasse in Gestalt von raffiniertem Rapsöl zum Einsatz. Da die Aufbereitung dieses Kraftstoffes allerdings Energie verbraucht, ist die CO₂-Bilanz nicht neutral. Dennoch ist die Reduzierung an Emission selbst gegenüber Erdgas beträchtlich. Die wahlweise Verwendung von Erdgas oder Erdöl bzw. aufbereiteter Biomasse wird ebenfalls genutzt, um die Wirtschaftlichkeit durch bedarfsabhängige Umschaltung des BHKW von Erd- auf Klärgas bzw. Flüssiggas zu erhöhen. Andererseits kann im Winter, wenn teure Spitzen im Gasverbrauch auftreten, aus den gleichen Gründen auf Dieselöl umgestellt werden.

2.3 Generatoren zur Stromerzeugung

Zum Einsatz kommen wahlweise Asynchron- oder Synchrongeneratoren. Um die Verlustwärme einfach abzuführen sowie Gewicht und Abmessungen zu minimieren, sind moderne Generatoren selbst im untersten Leistungsbereich wassergekühlt. Die asynchrone Variante empfiehlt sich als kostengünstige Lösung bei ausschließlichem Netzparallelbetrieb. BHKW mit Synchrongeneratoren sind darüber hinaus prinzipiell auch für den Inselbetrieb geeignet. Sie können daher eigenständig als Notstromaggregat betrieben werden. In der Regel entsprechen mit Synchrongenerato-

ren bestückte BHKW den sicherheitsrelevanten Anforderungen der VDE 0108. Sie eignen sich deshalb zum Einsatz in Rechenzentren, Kranken-, Geschäftshäusern und Versammlungsräumen.

2.4 Modulare Bauformen als Quasi-Standard

BHKW-Anlagen bestehen aus einem Aggregat oder aus mehreren gleichartigen Baugruppen. Jedes Modul ist eine werkstattseitig vormontierte und geprüfte Motor-Generatoreinheit. Aufgrund der großen Gewichte und Abmessungen – selbst das in Bild ② gezeigte Mini-BHKW wiegt 510 kg – erfordert die Aufstellung einen Kran. Nach Herstellung der Rohrverbindungen im Heiz- und Warmwassersystem sowie der elektrischen Anschlüsse kann die Einheit in Betrieb gesetzt werden. Die Hersteller unterstützen durch umfangreiche Dokumentationen Aufstellung und Montage.

Quasi standardisierte Module stehen in Leistungsstufen von 3 bis etwa 1000 kW zur Verfügung. Vielfach sind sie im Generator- (asynchron – synchron), im Motor- (Einsatz unterschiedlicher Kraftstoffe) und auch hinsichtlich Schadstoffminimierung werkstattseitig modifizierbar.

Der modulare Aufbau gestattet eine stufenweise optimale Anpassung an stark wechselnden Wärmebedarf (beispielsweise am Wochenende, in den Sommermonaten, bei eingeschränkter Produktion). Er erleichtert gleichzeitig eine schrittweise Vergrößerung der Anlagenleistung. Schließlich erhöht die Modulbauweise die Versorgungssicherheit für Wärme und Strom. Das ist ein besonders wichtiger Vorzug des BHKW-Einsatzes im Inselbetrieb. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich nicht zuletzt wegen der einfachen Montage und der Ersatzteilerhaltung. Auch die Möglichkeit, trotz des veränderlichen Energiebedarfs jede Motor-Generator-Einheit im Nennbetrieb und damit bei höchstem Wirkungsgrad zu betreiben, verbessert die Effizienz. In der Regel werden in größeren Anlagen

drei bis fünf Module – im obersten Leistungsbereich auch mehr – parallelgeschaltet. Vielfach ist jedes Modul mit einer integrierten Elektronik ausgerüstet, die die Steuerung der kompletten Anlage übernimmt.

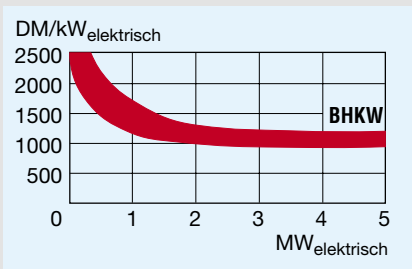
Meist werden BHKW-Module im Kellergeschoß zusammen mit anderen Komponenten der Heizungstechnik aufgestellt. Leistungen bis zu 200 kW_{el} erfordern keine speziellen Fundamente und keine Befestigung. Größere Einheiten erhalten ein gesondertes Gebäude. Auf Deponien dominiert die Containerbauweise (Bild ③).

3 Planung von BHKW

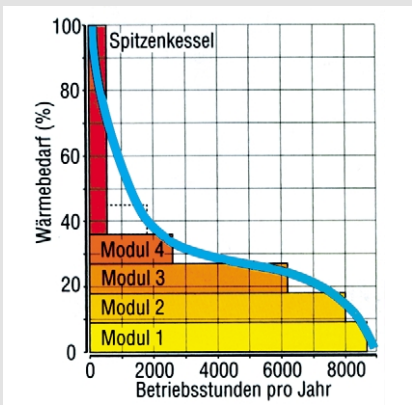
3.1 Wirtschaftlichkeit entscheidet

BHKW erfordern im allgemeinen höhere Investitionen als die im Regelfall zur alleinigen Wärmeversorgung eingesetzten Kesselanlagen. Ist eine Notstromversorgung notwendig, können die dadurch eingesparten Mittel der BHKW-Investition gutgeschrieben werden. Selbst das reicht nicht aus, um die Wirtschaftlichkeit einer ausschließlich auf BHKW-Wärme orientierten Strom-Warmwasser-Heizungs-Versorgung sicherzustellen. Deshalb ist die optimale Einbeziehung des BHKW das Hauptanliegen jeder Planung. Ziel ist die Minimierung der Betriebskosten für den gesamten Strom- und Wärmeverbrauch und die Maximierung der Erträge aus der Stromlieferung in das öffentliche Netz. Die Einsparungen müssen unter Einrechnung evtl. Fördermittel und der Gutschriften aus der Stromlieferung ausreichen, um die Investitionsmittel in etwa fünf bis acht Jahren zurückzahlen zu können. Die spezifischen, leistungsabhängigen Anlageninvestitionen zeigt Bild ⑤ [5].

Bei der Vorbereitung des BHKW-Einsatzes helfen zunächst die Vertriebspartner. Die Planung größerer Wärmeversorgungsanlagen übernehmen Ing.-Büros oder andere einschlägige Unternehmen. Voraussetzung sind Fachwissen und Erfahrungen



5 Spezifische Anlageninvestitionen für BHKW
(Quelle: AGFW/VIK)



6 Die Kennlinie sagt für ein angenommenes Objekt aus, welche Wärmeleistung wieviel Stunden pro Jahr benötigt wird. Die Abdeckung des Wärmebedarfs übernimmt ein BHKW mit 4 Modulen und der unverzichtbare Spitzenkessel.(Quelle: MAN)



7 Heizungskeller eines Technologiezentrums: Das BHKW im Vordergrund liefert das ganze Jahr Strom und Wärme (vgl. Bild 2). Der dahinter installierte Kessel deckt im Winter den Heizenergiebedarf mit mehr als zwanzigfach größerer Leistung ab.
(Quelle: Senertec)

im Wärmeanlagenbau und auf elektrotechnischem Gebiet. Auch Arbeitsgemeinschaften aus Handwerk plus Industrie sollten in der Lage sein, das wirtschaftlich optimale Konzept zu erarbeiten und zu verwirklichen.

Eine besondere Rolle spielen Betreibergesellschaften, die im Rahmen sog. „Contracting-Modelle“ Energiedienstleistungen wie Wärme und Strom auch in vielen deutschen Städten verkaufen. Sie planen, errichten und betreiben größere neue oder modernisierte Heizungsanlagen für mehrere Wohngebäude, Gebäudekomplexe oder Siedlungen.

Dabei werden Partner aus Handwerk und Industrie einbezogen. Die Finanzierung stellen Bankinstitute sicher. Beispielsweise wurden so im Berliner Willy-Brandt-Haus sowie in vielen anderen Berliner Objekten BHKW und Solarkollektoren in das Energieversorgungskonzept einbezogen. Die Betreiber bleiben Eigentümer der von ihnen errichteten Anlage und liefern an die Hauseigentümer und Mieter die Energie zu einem festgelegten Preis. Daher sind diese Betreiber bestrebt, die zu verkaufende Energie so preiswert wie möglich herzustellen.

3.2 BHKW für die Wärme-Grundlast

BHKW werden wärmegeführt ausgelegt. D.h., der geforderte Wärmebedarf bestimmt die BHKW-Leistung. Um aus wirtschaftlichen Gründen eine lange Laufzeit im Jahr zu erreichen, darf dafür keinesfalls die nur auf wenige Jahresstunden begrenzte Spitzenlast zugrunde gelegt werden. Anzustreben sind 5 - 6000 h, die je nach Verlauf der Jahres-Last-Kennlinie vielleicht nur 25 % der Spitzenlast abdecken. Arbeiten die BHKW dabei mit voller Leistung, können sie ggf. sogar 80 % der benötigten Jahreswärmearbeit liefern. Durch Wärmepufferspeicher steigen die Werte weiter.

Wesentliche Zugewinne sind möglich, wenn die Wärmelast vergleichmäßig wird. Die größten Effekte sind mit wärmeangetriebenen Absorptionskältemaschinen zu erzielen. Sie decken u.a. den Bedarf an Raumkühlung für Klimaanlage und stellen Tiefkühlenergie für viele andere Aufgaben zur Verfügung [2]. So konnte beispielsweise mit einer nachgerüsteten Kältemaschine im Klinikum Bayreuth die BHKW-Jahresauslastung von etwa 5700 auf mehr als 7350 h erhöht werden. In leistungsstärkeren Anlagen wie beispielsweise eine Wohnsiedlung bringen die Wärmelast mehrere Module auf. Je nach Gang der Kennlinie in Bild 6 verändert sich die Zahl der Betriebsstunden pro Jahr erheblich. Bei der Aufteilung auf mehrere Module sind der Verlauf der Jahreslastkurve und die Investitionskosten pro Modul in die Wirtschaftlichkeitsberechnung einzubeziehen. Den restlichen Energiebedarf deckt ein Spitzenkessel ab. Er ist in jeder BHKW-Anlage unverzichtbar. Das Beispiel Bild 7 zeigt eine Heiz-Kraft-Anlage für ein Technologiezentrum. Sie besteht aus einem Mini-HKW für 5,5 kW_{el} und einem dahinterliegenden 285 kW_{th} leistenden Heizkessel. Im Sommer arbeitet nur das BHKW vorzugewiese zur Warmwasserversorgung. Der typische Aufbau steht für eine große Zahl von relativ einfachen Anwendungen, deren Errichtung vom Planungsbeginn bis zur Inbetriebnahme maximal ein Jahr dauert.

3.3 Effektivität der Stromerzeugung

Die angebotene Leistung für Strom und Wärme ist bei BHKW zeitlich gekoppelt. Das Verhältnis beider Leistungen liegt systembedingt bei etwa 1:2. Gute Jahresauslastung bei Nennleistung im Wärmebereich gilt damit auch als Voraussetzung für die Effektivität der Stromerzeugung. Dabei muß versucht werden, den finanziell am besten bewerteten Eigenverbrauch in Hochtarifzeiten zu maximieren. Der für eigene Zwecke nicht verwertbare Stromanteil sollte deshalb soweit möglich in Hochtarifzeiten zurückgespeist werden. Im Extremfall führt diese Bedingung zur Veränderung der Konzeption zur Wärmeerzeugung. Ggf. hilft ein Energiemanagement bei der weiteren Verbesserung der wirtschaftlichen Ergebnisse. So kann etwa ein Pufferspeicher, aber auch ein Schwimmbad, im Wasser vorübergehend Wärmeenergie speichern und damit die Stromerzeugung des BHKW zeitlich beeinflussen. Auch der Stromverbrauch läßt sich – wie in jeder Elektroanlage mit den unterschiedlichsten Verbrauchern – durch Beeinflussung der verbraucherseitigen Ein- und Ausschaltvorgänge zeitlich verschieben. Das gilt beispielsweise für Kühlaggregate, Kompressoren, Waschmaschinen, Ladegeräte etc.

4 Ausblick

Die BHKW-Branche erwartet durch sinnvolle Fördermaßnahmen von Bund und Ländern wie Befreiung von der Energiesteuer, finanzielle Unterstützung der bei größeren Objekten teilweise umfangreichen Planungsarbeiten und Sicherung angemessener Rückspeisevergütungen einen zusätzlichen Wachstumsimpuls. Auch Forschung und Entwicklung unterstützen die BHKW-Technologie. Neue Antriebssysteme wie der Heißgasmotor – bekannt unter der Bezeichnung Stirlingmotor – befinden sich bereits in der Dauererprobung. Sie erweitern in der Perspektive die Anwendungsbreite von Biomasse und damit den stärkeren BHKW-Einsatz im außerstädtischen Bereich. Die Nutzung von Energie aus Biomasse als umweltfreundlichste BHKW-Variante steht nämlich erst am Anfang [2].

Nicht weniger aussichtsreich ist das Brennstoffzellen-BHKW [3]. Mehrere, allerdings noch viel zu teure Exemplare im Leistungsbereich bis 250 kW werden in deutschen EVU erprobt. Die Entwicklung ist, wie die Berliner SolarEnergie 98 und die Leipziger Terratec mit der Vorstellung des weltweit ersten BHKW für ein Einfamilienhaus zeig-

ten, im Gang [4]. Dennoch wird in den nächsten Jahren die bewährte Motor-Generator-Variante zunächst den Markt weiterhin beherrschen.

Literaturverzeichnis

- [1] Biomasse zur Wärme und Stromversorgung im kommunalen Umfeld Tagungsband der TerraTec 97. Herausgeber: Forum für Zukunftsenergien, Band 4.2. Buch- und Offsetdruckerei GmbH Richard Thierbach, Mülheim an der Ruhr, 1997.
- [2] Kabisch, H.: Umweltverträgliche Kühlverfahren in der Gebäudetechnik – heute und morgen. Elektropraktiker, Berlin 53 (1999)1, S. 50 - 55
- [3] div. Autoren: Messebericht Hannover 98, Teil Energie- und Umwelttechnik, dezentrale Energieversorgung. Elektropraktiker Berlin 52 (1998)7, S. 669/670.
- [4] Kabisch, H.: Fachmesse für Photovoltaik und Solarthermie in Berlin: Solar Energie in Aufbruchstimmung. Elektropraktiker 53(1999)2, S. 94 - 98
- [5] Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas. Ein Beitrag zur ökonomischen und ökologischen Energie-Vernunft Herausgeber: AGVW bei der VDEW, ASUE, VIK

INFO	Energieerzeugungssystem
Seine Runderneuerung wird auf drei Säulen ruhen:	
• hohe Effizienz bei Energiegewinnung und -verbrauch • optimale Brennstoffauslastung infolge KWK • zunehmender Beitrag der erneuerbaren Energieträger Wind (s. ep H. 1/99, S. 46), Sonne (s. ep H. 2/99, S. 132), Wasser und vor allem der Biomasse [1]	

INFO	BHKW
• Erzeugen von Strom, Wärme und Kälte • Energieeinsparungen bis zu 36% • Ausnutzungsgrad des Brennstoffes (Primärenergie) > 85% • installierte Anlagen in Deutschland > 3200 • installierte elektrische Nennleistung in Deutschland > 1.400 MW • installierte thermische Nennleistung in Deutschland > 2.000 MW • elektrische Leistung pro Maschine 3 - 5000 kW • Brennstoff-Nutzungsgrad 78 - 88% • elektrischer Wirkungsgrad 30 - 40% • Bauzeit 9 - 12 Monate • Minderung des CO₂-Ausstoßes < 50%	