ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR
SPARSAMEN UND
UMWELTFREUNDLICHEN
ENERGIEVERBRAUCH E.V.

BHKW–Grundlagen

Inhalt

1 Einleitung 4

· Konventionelle Energieversorgung

· Alternative Kraft-Wärme-Kopplung

· Stand der KWK-Stromerzeugung in Deutschland und der EU

· Ziel: 25 % KWK-Anteil in 2020

· Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken

2 Hohe Effizienz und geringe Emissionen 8
Systemvorteile von BHKW

· Brennstoffeinsparungen

· Emissionsverringerungen

3 Komponenten von BHKW 10

· Antriebsmotoren

· Auskopplung der Abgas- und Kühlwasserwärme

· Stromerzeugung und elektrische Netzanbindung

4 Betriebsweise von BHKW-Anlagen 16

· Wärmegeführte Betriebsweise

· Stromgeführte Betriebsweise

· Kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise

5 Emissions- und Immissionsvorschriften 20

· Bundesimmissionsschutzgesetz

· Emissionsgrenzwerte der TA-Luft

· Immissionsrichtwerte der TA-Lärm

6 Planung und Auslegung 26

· Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs

· Lastgang des Strombedarfs

· Zukünftige Änderungen des Wärme- und Strombedarfs

· Modulare Anlagenkonzeption

7 Wirtschaftlichkeit von BHKW 32
· Kapitalgebundene Kosten
· Betriebsgebundene Kosten
· Verbrauchsgebundene Kosten
· Strombezugskosten
· Kostenverringernde Erstattungen und Vergütungen
· Resultierende Einsparungen
· Amortisation
· Betreibermodelle

8 Einsatzgebiete und Anwendungsbeispiele 38
· Gebäudebeheizung
· Krankenhäuser
· Hallenbäder und beheizte Freibäder
· Erdgasentspannungsanlagen
· EDV-Zentren
· Gewerbe- und Industriebetriebe
· Kläranlagen

9 Referenzprojekte 42
· BHKW für ein EDV-Zentrum der E.ON Ruhrgas AG
· Mobiles BHKW der Stadtwerke Rinteln GmbH
· BHKW zur Wärmeversorgung einer Wohngebäudeanlage in Laatzen
· BHKW in der Energiezentrale der LWL-Klinik Lippstadt
· Mikro-BHKW mit Stirling-Motor für Einfamilienhäuser

10 Weitere Informationen 46

Einleitung

Konventionelle Energieversorgung

Bei der konventionellen Energieversorgung werden in der Regel Strom und Wärme getrennt voneinander erzeugt. Der Strom wird überwiegend zentral in großen Kondensationskraftwerken unter Einsatz von Steinkohle, Braunkohle oder Kernenergie produziert und über Fernleitungen an die Verbraucher geliefert. Diese Art der Erzeugung ist stets mit hohen Wärmeverlusten verbunden, da am Ende des Prozesses große Mengen von Kondensationswärme bei niedrigen Temperaturen ungenutzt an die Umgebung abgeführt werden. Darüber hinaus entstehen Übertragungsverluste auf dem Weg vom Kraftwerk bis zur Steckdose des Verbrauchers.

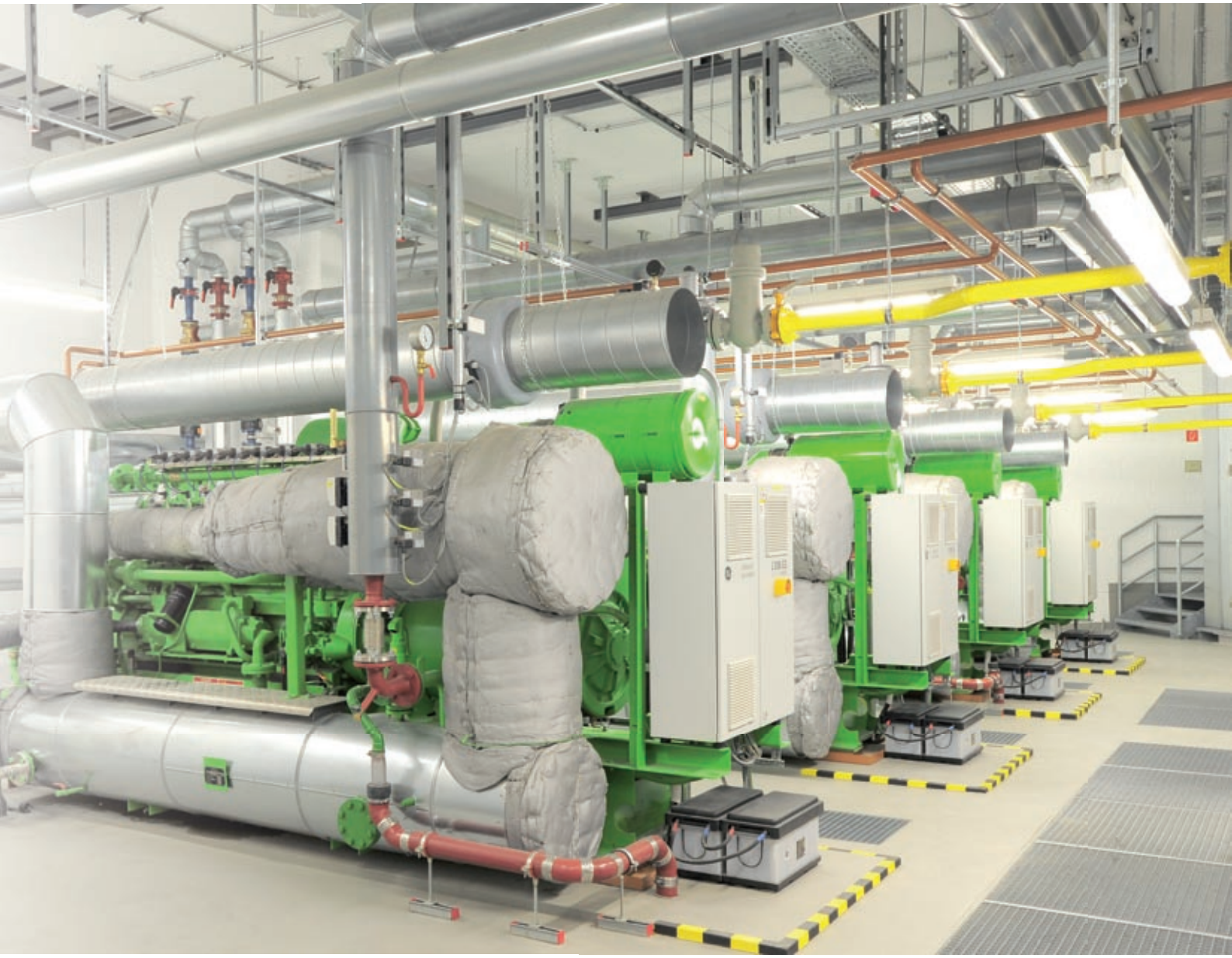
Die von den Verbrauchern benötigte Heizwärme, Wärme zur Trinkwassererwärmung sowie auch Prozesswärme in der Industrie werden im Allgemeinen verbrauchernah oder durch die Verbraucher selbst unter Einsatz fossiler Brennstoffe in Kesselanlagen erzeugt. Dabei können heute mit modernen und richtig ausgelegten Anlagen hohe Nutzungsgrade und entsprechend geringe Verluste erzielt werden.

Betrachtet man die dargestellte Form der getrennten Strom- und Wärmeversorgung zusammengefasst, so ergeben sich aufgrund der hohen Stromerzeugungsverluste keine zufriedenstellenden Gesamtnutzungsgrade.

Alternative Kraft-Wärme-Kopplung

Zu einem besseren Ergebnis kommt man durch Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), bei der man Wärme auf höherem, für die Verbraucher nutzbarem Temperaturniveau gewinnt und die sonst hohen Wärmeverluste der reinen Stromerzeugung vermeidet. Auf diese Weise wird beispielsweise in großen zentralen Heizkraftwerken mittels KWK Strom und Heizwärme gleichzeitig produziert und über Strom- und Fernwärmeleitungen an die Verbraucher geliefert. Heizkraftwerke lassen sich erfahrungsgemäß jedoch nur für die Versorgung von Ballungszentren mit kurzen Wegen zu den Verbrauchern wirtschaftlich betreiben, da die Wärmelieferung über große Strecken besonders hohe Investitionen in teure Fernwärmenetze erforderlich macht.

Die Vorteile der KWK lassen sich auch in dezentralen, verbrauchernahen Blockheizkraftwerken (BHKW) realisieren, bei denen aufwendige Wärmenetze entfallen. Einsatzgebiete sind beispielsweise Wohngebäude, öffentliche Einrichtungen sowie Gewerbe- und Industriebetriebe. Mit Blockheizkraftwerken kann deshalb ein großes KWK-Potential erschlossen werden, das mit großen zentralen Heizkraftwerken nicht erreichbar ist.



Stand der KWK-Stromerzeugung in Deutschland und der EU

In den 27 Ländern der EU wurde im Jahr 2008 in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen Strom in Höhe von insgesamt rund 370 TWh erzeugt. Auf Deutschland entfällt hiervon der weitaus größte Beitrag mit 21,5 % (siehe Abbildung 1).

Allerdings ist der Anteil von KWK-Strom an der Gesamtstromerzeugung noch verhältnismäßig gering. Europaweit lag im Jahr 2008 der Prozentsatz für KWK-Strom bei 11 %, in Deutschland bei 12,5 %. Die höchsten KWK-Stromanteile erreichen Dänemark und Finnland (siehe Abbildung 2).

Die 3 größten Beiträge zur KWK-Stromerzeugung in 2008 in der EU

in Prozent; 27 Länder insgesamt 370,1 TWh

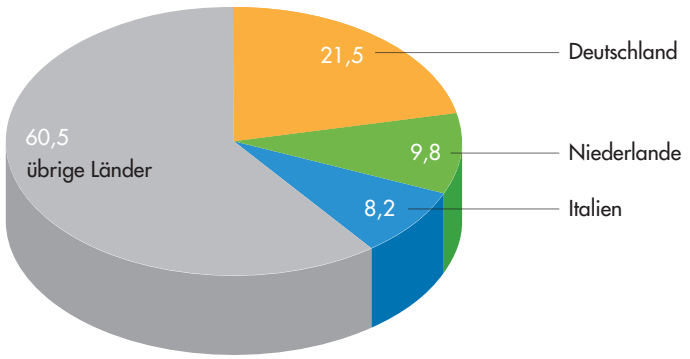


Abb. 1 *Datenquelle: Eurostat*

Anteil KWK-Strom in 2008 an der Gesamtstromerzeugung in einzelnen Ländern in Prozent

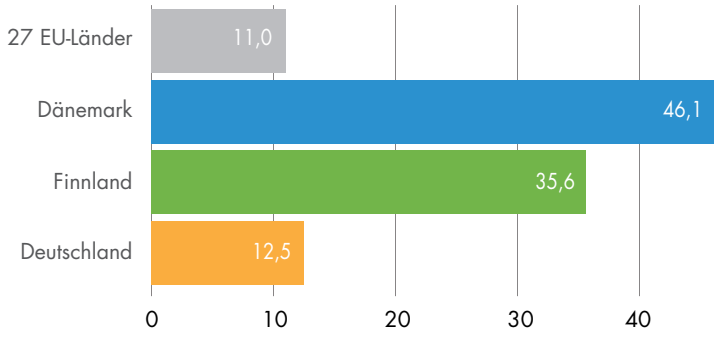


Abb. 2 *Datenquelle: Eurostat*

Ziel: 25 % KWK-Anteil in 2020

Aufgrund hoher Nutzungsgrade lassen sich durch Kraft-Wärme-Kopplung in erheblichem Umfang fossile Brennstoffe einsparen. Gleichzeitig ist damit eine deutliche Verringerung von Schadstoff- und CO_2-Emissionen verbunden, dies gilt in besonderem Maße bei Einsatz des umweltfreundlichen Brennstoffes Erdgas.

Die Kraft-Wärme-Kopplung hat deshalb aktuell vor dem Hintergrund der globalen Klimaveränderung eine besondere Bedeutung, da hiermit ein wichtiges Instrument zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele zur Verfügung steht. Die Bundesregierung hat sich energie- und klimapolitisch zum Ziel gesetzt, durch geeignete Maßnahmen den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung bei der Stromerzeugung auf 25 % bis zum Jahr 2020 zu erhöhen. Die Modernisierung und Neuerrichtung von KWK-Anlagen wird beispielsweise im Rahmen des neuen KWK-Gesetzes 2009 gefördert. Dieses Gesetz sowie auch weitere Regelungen machen den Betrieb von KWK-Anlagen heute wirtschaftlich attraktiv.

Darüber hinaus wächst zur Zeit in der Bevölkerung aus Sorge vor zunehmenden lokalen Belastungen für die Gesundheit der Widerstand gegen die Errichtung neuer fossil befeuerter Großkraftwerke. Auch die ungeklärte Entsorgungsfrage von verbrauchten radioaktiven Brennelementen aus Kernkraftwerken mindert die Akzeptanz für eine Betriebsverlängerung der bestehenden Anlagen. Die Voraussetzungen für eine breite gesellschaftliche Zustimmung für den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sind daher in der aktuellen energiepolitischen Situation gegeben.

Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken

Die vorliegende Broschüre bietet dem Leser grundlegende Informationen über die Kraft-Wärme-Kopplung speziell in dezentralen Blockheizkraftwerken. Dabei stehen BHKW mit Verbrennungsmotoren im Vordergrund, da sie im Bereich kleiner und mittlerer Leistungen den weitaus häufigsten Anwendungsfall darstellen. Es wird jedoch auch auf BHKW mit anderen Antriebsaggregaten, wie z.B. Gasturbinen oder auch Stirling-Motoren und Brennstoffzellen, hingewiesen.

Zu Beginn werden in einem Vergleich mit der konventionellen, getrennten Strom- und Wärmeerzeugung die durch BHKW erzielbaren Brennstoffeinsparungen und Emissionsverringerungen quantitativ ausgewiesen. Eine technische Beschreibung von BHKW-Anlagen und deren Komponenten vermittelt auch dem Nichtfachmann Verständnis für die Funktion und Betriebsweise dieser Anlagen. Die zu beachtenden Emissionsvorschriften und die verfügbaren technischen Maßnahmen zu deren Einhaltung werden zusammenfassend dargestellt und die wesentlichen Fragen im Zusammenhang mit der Planung und Auslegung von BHKW erörtert. Am Beispiel einer Wirtschaftlichkeitsrechnung wird deutlich gemacht, welche Kosten mit der Errichtung und dem Betrieb von BHKW verbunden sind, welche Kosten eingespart werden können und wie sich gesetzliche Fördermaßnahmen auswirken. Schließlich werden erfolgreich ausgeführte Praxisbeispiele vorgestellt, die auch die Vielfalt der Anwendungsformen zeigen.

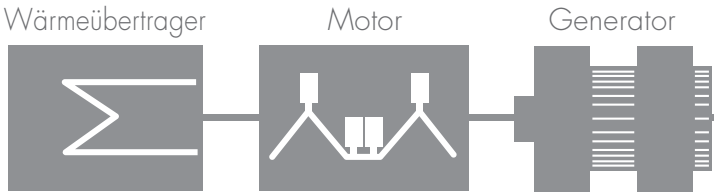
Hohe Effizienz und geringe Emissionen – Systemvorteile von BHKW

Die hier zugrunde gelegten BHKW-Anlagen beinhalten im Wesentlichen die Komponenten:

- Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat
- Generator zur Stromerzeugung sowie
- Wärmeübertrager zur Wärmeauskopplung.

Technische Einzelheiten werden in Kapitel 3 erläutert. Verbrennungsmotoren stehen in einem weiten Leistungsbereich von ca. 1 kW bis zu mehreren 1000 kW Antriebsleistung für den Einsatz in BHKW zur Verfügung. Im Bereich kleinerer Leistungen kommen Otto-Motoren und im Bereich größerer Leistungen Otto- und Zündstrahlmotoren zum Einsatz. Die elektrischen Wirkungsgrade von BHKW reichen nach Art des Motors und der Leistung von ca. 30 % bis über weit über 40 %, die thermischen Wirkungsgrade liegen in einem Bereich von etwa 50 % bis 60 %.

Für einen Systemvergleich zwischen konventioneller, getrennter Strom- und Wärmeerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung in einem BHKW hinsichtlich Brennstoffverbrauch und Schadstoffemissionen wird beispielhaft ein häufig installiertes BHKW in der Leistungsklasse von etwa 200 kW elektrischer Leistung und der Einsatz von Erdgas zugrunde gelegt. Bei der konventionellen Systemvariante werden Strom in einem Kohlekraftwerk und Wärme in einem Kessel unter Einsatz von Heizöl EL erzeugt.



Brennstoffeinsparungen

Für den Systemvergleich wurden die nachfolgend dargestellten mittleren Nutzungsgrade zugrunde gelegt.
Elektrischer Nutzungsgrad Kohlekraftwerk: 38 %
Elektrische Übertragungsverluste: 2 %
Thermischer Nutzungsgrad Konventioneller Heizkessel: 90 %
Elektrischer Nutzungsgrad Erdgas-BHKW: 36 %
Thermischer Nutzungsgrad Erdgas-BHKW: 51 %.

In Abb. 3 sind in Form eines Sankey-Diagramms die resultierenden Nutzenergieanteile und Verlustanteile für beide Systeme im Vergleich dargestellt. Um die Endprodukte Strom und Wärme in gleicher Höhe zu produzieren, ist im Fall der getrennten Erzeugung ein erheblich größerer Brennstoffenergieeinsatz als im Fall des BHKW erforderlich, und zwar im Verhältnis 157 zu 100. Für das BHKW resultiert daraus eine Primärenergieeinsparung in Höhe von 36 %. BHKW sind demnach ein besonders geeignetes Instrument für eine sparsame Verwendung der nur begrenzt verfügbaren fossilen Energieträger.

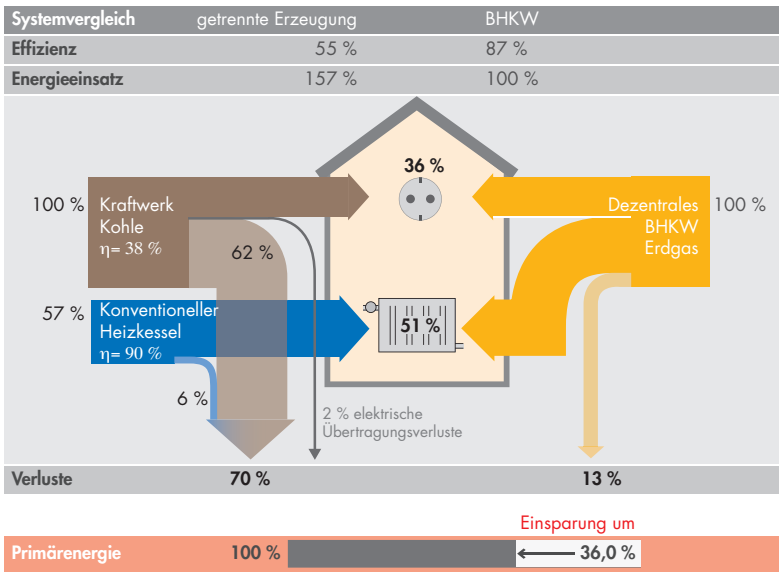


Abb. 3

Emissionsverringerungen

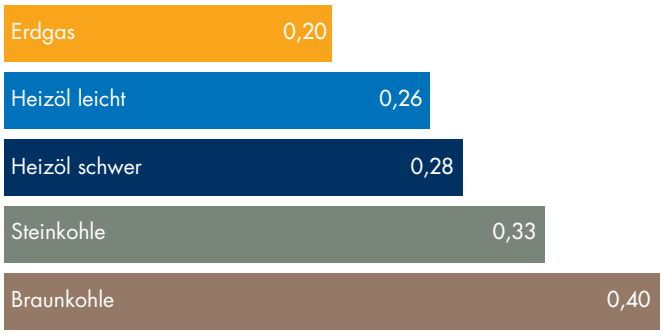
Die Primärenergieeinsparungen, die durch Einsatz eines BHKW erreicht werden, haben gleichzeitig eine Verringerung von CO_2- und Schadstoffemissionen zur Folge. Darüber hinaus kommen die Vorteile des Erdgases gegenüber anderen Brennstoffen zum Tragen. Erdgas verbrennt staubfrei und ohne Schwefeldioxidemissionen. Die bei jeder Verbrennung von fossilen Brennstoffen auftretende Stickoxidbildung kann in einem BHKW durch geeignete Maßnahmen (siehe Kapitel 5) besonders effektiv reduziert werden.

Außerdem ist die spezifische CO_2-Bildung bei der Verbrennung von Erdgas deutlich geringer als bei anderen Brennstoffen. In Abb. 4 ist die CO_2-Bildung bezogen auf den Brennstoffeinsatz für verschiedene Brennstoffe im Vergleich dargestellt; Erdgas erreicht mit Abstand den niedrigsten Wert der spezifischen CO_2-Bildung bei der Verbrennung.

In Abb. 5 ist schließlich die Emissionsentlastung bei Erdgaseinsatz in einem BHKW gegenüber der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung mit Steinkohle und Heizöl EL dargestellt. Während Staub und SO_2 bei einem Erdgas-BHKW praktisch keine Rolle spielen, wird hinsichtlich der NO_x-Emissionen eine Entlastung von mehr als einem Viertel erreicht. Die Entlastung in Höhe von fast 60 % bei den CO_2-Emissionen durch das BHKW ist insbesondere vor dem Hintergrund der diskutierten Maßnahmen zum Klimaschutz beeindruckend.

CO_2-Bildung bei der Verbrennung fossiler Energieträger

in kg CO_2/kWh Brennstoffeinsatz (H_i)



Quelle: Schlussbericht der Enquetkommission des Deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre", Oktober 1994

Abb. 4

Emissionsentlastung bei Erdgaseinsatz in einem BHKW gegenüber getrennter Strom- und Wärmeerzeugung mit Steinkohle und Heizöl EL

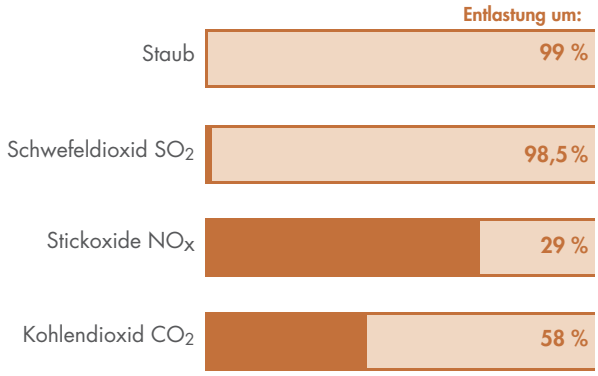


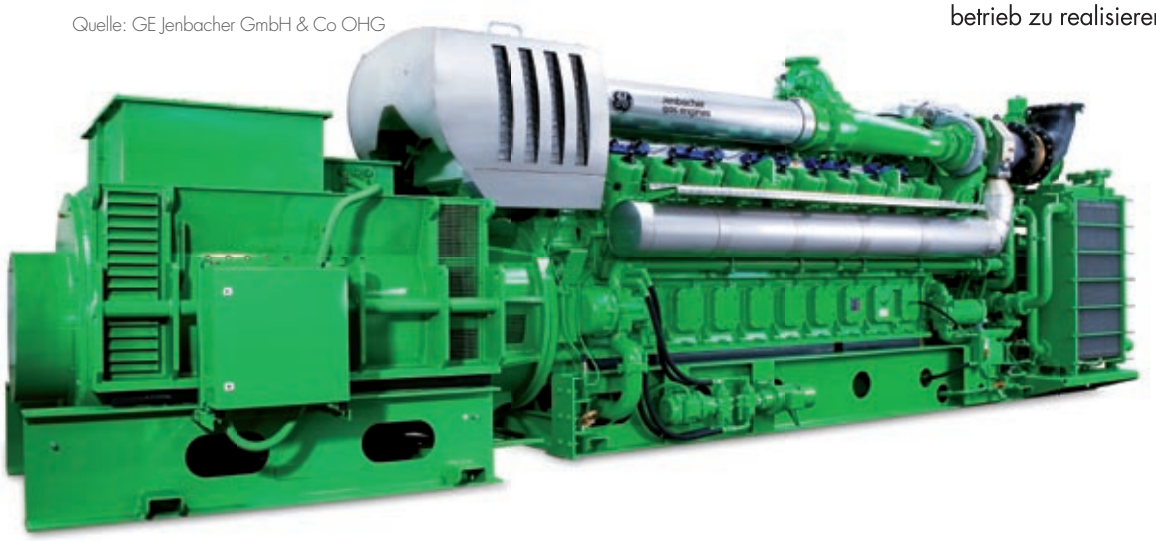
Abb. 5

Antriebsmotoren

Bei den in BHKW eingesetzten Verbrennungsmotoren kleinerer und mittlerer Leistungen handelt es sich vielfach um modifizierte Otto- und Dieselmotoren aus der Serienfertigung für PKW und LKW. Dieselmotoren werden bei Verwendung von Erdgas als Brennstoff in der Regel auf Ottobetrieb mit Fremdzündung umgerüstet, da bei den im Allgemeinen niedrigen Erdgasdrücken eine kontrollierte Selbstzündung nicht erreicht wird.

BHKW-Anlagen mit großen elektrischen Leistungen von etwa 1 MW und darüber arbeiten häufig mit Schiffsdieselmotoren. Um den hohen mechanischen Wirkungsgrad des Motors im Dieselbetrieb nutzen zu können, wird ein geringer Brennstoffanteil (ca. 5 %) mit hohem Druck als Zündbrennstoff zugeführt, entweder Zündöl über Hochdruckeinspritzpumpen oder hochverdichtetes Erdgas (wie von MAN neuerdings realisiert). Dadurch gelingt es, die Selbstzündung des Hauptbrennstoffes, zumeist Erdgas, auszulösen und den Dieselbetrieb zu realisieren.

Quelle: GE Jenbacher GmbH & Co OHG



Die Betriebsweise von Verbrennungsmotoren ist bei Einsatz in Fahrzeugen und in BHKW-Anlagen sehr unterschiedlich.

Fahrzeugbetrieb

Die Anforderungen an den Motor sind gekennzeichnet durch häufige Starts, ständige Lastwechsel und verhältnismäßig kurze Phasen mit konstanter Leistung. Aufgrund dieser Anforderungen erreichen Fahrzeugmotoren Laufzeiten von insgesamt nicht mehr als 3.000 – 4.000 Stunden.

Rund ein Drittel der zugeführten Brennstoffenergie wird als Antriebsenergie zur Fortbewegung genutzt, der Rest entfällt auf die über den Auspuff entweichende Abgaswärme sowie auf die Motorabwärme, die mit dem Kühlwasser über den Kühler ungenutzt an die Umgebung abgeführt werden muss, damit die zulässige Betriebstemperatur des Motors nicht überschritten wird. Lediglich für die PKW-Beheizung wird an kalten Tagen ein Teil der Motorabwärme genutzt.

Zur Leistungssteigerung der Motoren werden Turbolader entweder zur Aufladung der Verbrennungsluft oder zur Aufladung des Brennstoff-Luft-Gemisches eingesetzt. Entsprechend werden die Bezeichnungen Luftaufladung und Gemischaufladung verwendet. Bei der Luftaufladung wird das Erdgas mit der bereits komprimierten Verbrennungsluft zusammengeführt, so dass entsprechend hohe Erdgasdrücke erforderlich sind, die bei Anlagen mit großen Leistungen häufig zur Verfügung stehen. Bei kleineren Anlagen wird die Gemischaufladung angewendet. Durch Aufladung wird eine größere Zylinderfüllung und damit eine entsprechende Leistungserhöhung erreicht.

Mit Verbrennungsmotoren großer Leistung erreichen BHKW-Anlagen höhere elektrische Wirkungsgrade als im Bereich kleinerer Leistungen.

Die Wirkungsgrade von modernen BHKW mit unterschiedlich großen Antriebsmotoren sind für die verschiedenen Leistungsklassen beispielhaft in Abb. 6 dargestellt. Eine umfassende Zusammenstellung wesentlicher Daten der von Herstellern angebotenen BHKW-Anlagen enthält die ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten 2010".

Wirkungsgrade von BHKW mit unterschiedlichen Leistungen

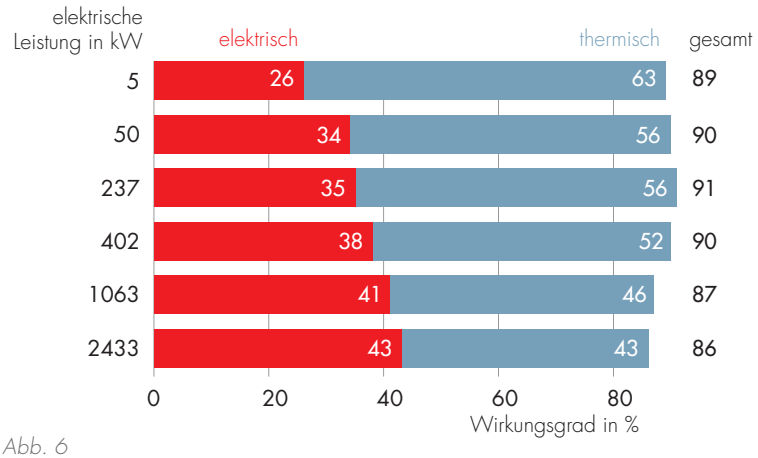


Abb. 6

BHKW

Die Motoren werden in der Regel stationär mit konstanter Leistung betrieben und häufige Starts sowie Lastwechsel möglichst vermieden. Durch diese gleichförmige, schonende Betriebsweise erreichen BHKW-Motoren Laufzeiten je nach Motorleistung zwischen etwa 30.000 und 100.000 Stunden, bis eine Generalüberholung oder ein Motoraustausch erforderlich wird. Dabei erreichen Motoren größerer Leistung in der Regel längere Laufzeiten.

Der größte Teil der Abgaswärme sowie die mit dem Kühlwasser ausgetragene Motorabwärme einschließlich Schmierölwärme wird über Wärmeübertrager ausgekoppelt und als Nutzwärme zum Beispiel für Heizzwecke genutzt. Auf diese Weise werden hohe Gesamtwirkungsgrade durch die gleichzeitige Nutzung der mechanischen (bzw. elektrischen unter Einbeziehung des Generators) und der thermischen Energie in BHKW erreicht.

Auskopplung der Abgas- und Kühlwasserwärme

Wie bereits erwähnt, setzt sich die Nutzwärme eines BHKW zusammen aus der Abgaswärme und der mittels Kühlwasser ausgekoppelten Motorabwärme. Die Anteile von Abgaswärme und Kühlwasserwärme sind bei Motoren kleiner und großer Leistung unterschiedlich. In Abb. 7 sind die Wärmeanteile für zwei verschieden große Motoren dargestellt. Bei kleinen Motoren überwiegt die Kühlwasserwärme, bei Großmotoren sind die Wärmeanteile etwa gleich groß. Abb. 7 zeigt auch an zwei Beispielen die Nutzwärmeanteile bei Gasturbinenanlagen, die ausschließlich aus den Abgasen gewonnen werden. Im Vergleich mit dem konventionellen Kohlekraftwerk wird noch einmal die sehr gute Brennstoffnutzung bei der Kraft-Wärme-Kopplung deutlich.

Die Abgaswärme steht auf einem Temperaturniveau von etwa 500 °C zur Verfügung und kann grundsätzlich zur Dampferzeugung in einem Abhitzekessel, wie im Fall von Gasturbinenanlagen üblich, genutzt werden. Bei den Verbrennungsmotoren erreicht das Motorkühlwasser eine Temperatur von etwa 90 °C. Für eine getrennte Nutzung beider Wärmeanteile sind daher zwei unabhängige Sekundärkreisläufe mit einem entsprechenden technischen Aufwand erforderlich. Die getrennte Auskopplung beider Wärmeanteile bleibt aus wirtschaftlichen Gründen BHKW-Anlagen mit großen Leistungen vorbehalten.

Bei Anlagen mit geringerer Leistung oder generell, wenn eine getrennte Wärmeauskopplung nicht erforderlich ist, werden Abgaswärme und Kühlwasserwärme über Wärmeübertrager an einen gemeinsamen sekundären Wasserkreislauf übertragen (siehe Abb. 8). Die Austrittstemperatur des Sekundärkreislaufes liegt im Allgemeinen bei 90 °C, die Eintrittstemperatur bei 70 °C. Aufgrund dieses Temperaturverhältnisses des sekundären Kühlkreislaufes sind BHKW-Anlagen besonders für die wärmeseitige Einbindung in Heizungssysteme zur Gebäudebeheizung und Brauchwassererwärmung geeignet. Einsatzgebiete sind zum Beispiel Wohn- und Geschäftsgebäude, Krankenhäuser, Bäder, Schulen, Verwaltungsgebäude, sonstige öffentliche Einrichtungen sowie Gewerbe- und Industrieobjekte.

Brennstoffnutzung bei Gasmotor- und Gasturbinenanlagen
Anlagen mit unterschiedlicher elektrischer Leistung

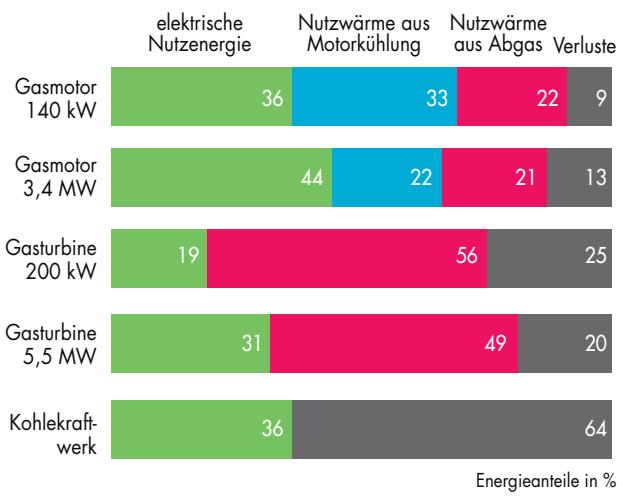


Abb. 7

Auskopplung der Abgas- und Kühlwasserwärme in einem BHKW
Beispiel BHKW mit 237 kW elektrischer Leistung

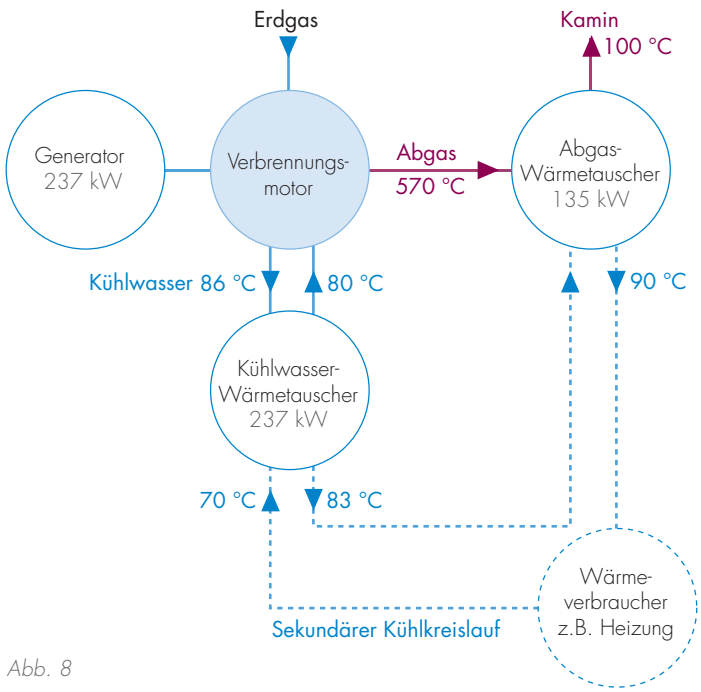


Abb. 8

Durch die sogenannte Heißkühlung von Motoren sind auch höhere Temperaturen von z. B. 120 °C und 90 °C am Austritt und Eintritt des sekundären Kühlkreislaufes darstellbar. BHKW mit heißgekühlten Motoren können daher auch ohne Trennung des sekundären Kühlkreislaufes zur Erzeugung von Niederdruckdampf und damit für die Prozesswärmeversorgung in den Bereichen Gewerbe und Industrie eingesetzt werden. Beispiele für Einsatzgebiete sind hier Wäschereien, Kliniken, Nahrungsmittelindustrie.

In der Regel verlassen die Motorabgase den Wärmeübertrager mit einer Temperatur von ca. 120 °C. In einem zusätzlichen Edelstahlwärmeübertrager können die Abgase weiter bis unterhalb des Taupunktes abgekühlt werden, wobei der in den Rauchgasen enthaltene Wasserdampf kondensiert. Durch Nutzung der Kondensationswärme kann der thermische Wirkungsgrad der BHKW-Anlage um ca. 5 Prozentpunkte erhöht werden. Die Anwendung dieser sogenannten Brennwertoption erfordert einen entsprechenden Wärmebedarf auf niedrigem Temperaturniveau. Zum Beispiel kann bei hohem Brauchwasserwärmebedarf das Frischwasser vor Eintritt in den Speicherbehälter in einem Brennwertwärmeübertrager vorgeheizt werden.

In besonderen Anwendungsfällen wird die Abgaswärme direkt, d.h. ohne Übertragung auf einen Sekundärkreislauf, genutzt. Ein Beispiel sind Ziegeleien im Bereich der Baustoffindustrie, die Abgase aus BHKW-Anlagen unmittelbar in Trocknungskammern zur Ziegeltrocknung einsetzen können. Der erzeugte Strom findet für Maschinenantriebe bei Formgebung und Transport Verwendung.

Ein anderes Anwendungsbeispiel für direkte Abgasnutzung ist die CO_2-Düngung in Gärtnereien. Durch Eintragen von entsprechend gereinigten Motorabgasen in die Gewächshäuser wird das im Abgas enthaltene CO_2 für eine Intensivierung des Pflanzenwuchses genutzt. Die aus den Wärmeübertragern ausgekoppelte Wärme wird zur Beheizung der Gewächshäuser eingesetzt. Der erzeugte Strom kann für die Assimilationsbeleuchtung genutzt werden.

Quelle: Sokratherm GmbH Energie- und Wärmetechnik

Stromerzeugung und elektrische Netzanbindung

Zur Stromerzeugung kommen in BHKW-Anlagen Generatoren sowohl in Synchron- wie auch in Asynchronbauweise zum Einsatz. Asynchrongeneratoren sind von einfacherer Bauart, wartungsärmer und daher kostengünstiger als Synchrongeneratoren. Sie benötigen jedoch beim Start eine Fremderregung, die im Normalfall durch das anzubindende Netz erfolgt. Bei der Netzanbindung synchronisiert sich der Asynchronmotor automatisch an die Frequenz des Netzes und erfordert keine besonderen Synchronisierungseinrichtungen. Er bezieht allerdings Blindleistung aus dem Netz, so dass gegebenenfalls nach den jeweiligen technischen Anschlussbedingungen des Energieversorgungsunternehmens (EVU) Blindleistung kompensiert werden muss, z. B. durch die Installation einer Kondensatorbatterie. Erfahrungsgemäß ist dies bei Generatorleistungen von mehr als 100 kW erforderlich, so dass Asynchronmotoren nur bei BHKW-Anlagen mit kleiner Leistung eingesetzt werden. Darüber hinaus sind für einen sogenannten Inselbetrieb, d.h. Betrieb ohne die Anbindung an ein öffentliches Netz, Startvorrichtungen erforderlich und Schwankungen der Stromfrequenz in Kauf zu nehmen.

Der Synchrongenerator ist hinsichtlich der Bauart technisch aufwändiger und erfordert beispielsweise eine Synchronisiereinrichtung zur Anpassung an die jeweilige Frequenz des anzubindenden Netzes. Andererseits ist er in der Lage, Blindleistung sowohl zu beziehen wie auch abzugeben und kann daher durch Blindleistungskompensation zur Reduzierung oder Vermeidung von Blindleistungskosten beitragen. Weiterhin benötigt der Synchrongenerator beim Start keine Fremderregung durch ein Netz oder eine Startvorrichtung, im Inselbetrieb arbeitet er mit konstanter Frequenz und er eignet sich besser als Aggregat für die Notstromversorgung. Bei den meisten BHKW-Anlagen kommen Synchrongeneratoren zum Einsatz.

Die zum reinen Inselbetrieb alternative Betriebsweise von BHKW-Anlagen ist der sogenannte Netzparallelbetrieb. Dabei ist das BHKW mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden und der erzeugte Strom wird

- vollständig ins Netz eingespeist oder
- vollständig für die Deckung des Eigenstrombedarfs genutzt und gegebenenfalls zusätzlicher Strombedarf durch Bezug aus dem Netz gedeckt oder
- je nach Verlauf des Eigenstrombedarfs teilweise ins Netz eingespeist und teilweise für die Eigenstrombedarfsdeckung genutzt.

Die jeweils in Betracht kommende Betriebsweise ist unter anderem abhängig von den wirtschaftlichen Konditionen einer Netzeinspeisung und den Kosten für Zusatzstrombezug und muss im Rahmen der BHKW-Planung sorgfältig analysiert werden. Der in BHKW-Anlagen mit kleinen elektrischen Leistungen erzeugte Strom kann beim Netzparallelbetrieb im Allgemeinen direkt in das Niederspannungsnetz des Verteilnetzbetreibers (VNB) eingespeist werden. Bei mittleren Leistungen erfolgt die Übertragung in der Niederspannungssammelschiene der nächsten Trafostation. Erst bei Generatorleistungen ab ca. 1 MW wird in der Regel eine Stromeinspeisung in das Mittelspannungsnetz des VNB in Betracht kommen.

In sensiblen Bereichen, wie z. B. Krankenhäusern und EDV-Anlagen, werden für den Fall von Unterbrechungen der öffentlichen Stromversorgung Notstromaggregate vorgehalten, die ausschließlich im Störungsfall kurzzeitig in Betrieb gehen und für die besondere Anlaufbedingungen gelten. BHKW-Anlagen können zusätzlich zu ihrem normalen Betrieb mit entsprechender elektrotechnischer Ausrüstung auch die Funktion von Notstromaggregaten übernehmen. Hierzu sind Entkopplungseinrichtungen mit Überwachung von Spannung, Frequenz und Kurzzeitunterbrechungen erforderlich. Durch die Notstromausstattung von BHKW-Anlagen können die Kosten der Notstromversorgung reduziert werden.

Betriebsweise von BHKW-Anlagen

BHKW-Anlagen werden im Allgemeinen für lange Laufzeiten mit Volllast konzipiert, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen. Dabei ist eine genaue Anpassung an den Strom- und Wärmebedarf der angeschlossenen Abnehmer erforderlich. Für diese Aufgabe sind BHKW mit entsprechenden Steuer- und Regelgeräten ausgerüstet. Man unterscheidet zwischen folgenden Betriebsweisen von BHKW-Anlagen:

- wärmegeführte Betriebsweise
- stromgeführte Betriebsweise
- kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise.

Wärmegeführte Betriebsweise

Bei der rein wärmegeführten Betriebsweise folgt die BHKW-Anlage ausschließlich der Wärmeanforderung durch die angeschlossenen Verbraucher. Bei der Beheizung von Gebäuden ist beispielsweise die Außentemperatur die den Wärmebedarf bestimmende Größe. Um lange BHKW-Laufzeiten innerhalb eines Jahres zu erzielen, ist in diesen Fällen die Leistung des BHKW so zu bemessen, dass eine über viele Stunden des Jahres konstant vorhandene Grundlast des Wärmebedarfs abgedeckt werden kann. Oberhalb dieser Grundlast wird in der Regel ein Spitzenlastkessel zur weiteren Wärmebedarfsdeckung eingesetzt. Kurzfristige Schwankungen der Wärmegrundlast, z.B. aufgrund der überlagerten Warmwasserversorgung, können zur Aufrechterhaltung eines konstanten BHKW-Betriebs durch folgende Maßnahmen kompensiert werden:

- Reduzierung der Motorleistung und/oder
- Einsatz eines Wärmespeichers.

Die Reduzierung der Motorleistung ist mit einer Verringerung des elektrischen Wirkungsgrades verbunden, so dass im Allgemeinen die Leistungsreduzierung auf 60 % der Nennleistung mit einer Wirkungsgradeinbuße von einigen Prozentpunkten (herstellerabhängig) begrenzt wird. Durch Wärmespeicher gelingt es, bei konstanter Leistung der BHKW-Anlage kurzfristige Lastspitzen und Lasttiefpunkte auf der Verbraucherseite meistens im Tagesverlauf des Wärmebedarfs zu kompensieren. Der Einsatz eines Wärmespeichers erfordert jedoch zusätzliche Investitionen und muss in jedem Einzelfall hinsichtlich des wirtschaftlichen Nutzens überprüft werden. In Abhängigkeit vom Profil der Wärmelastschwankungen kann auch eine Kombination von Reduzierung der Motorleistung und Wärmespeichereinsatz zur Lastregelung des BHKW in Betracht kommen.

Bei der rein wärmegeführten Betriebsweise des BHKW wird der erzeugte Strom in das öffentliche Netz eingespeist und ggf. in Abhängigkeit vom Strombedarf des Betreibers zur Deckung des Eigenstrombedarfs genutzt. In jedem Fall ist stets eine ausreichend große Senke zur Aufnahme des erzeugten Stromes vorhanden, so dass der Strom keine Führungsgröße für den Betrieb des BHKW ist.

Die wärmegeführte Betriebsweise ist der häufigste Anwendungsfall für BHKW-Anlagen. Anwendungsbeispiele sind:

- Wärmeversorgung einzelner Wohngebäude,
- Nahwärmeversorgung von mehreren Wohngebäuden,
- Wärmeversorgung von öffentlichen Einrichtungen (Schulen, Verwaltungsgebäude),
- Wärmeversorgung von Krankenhäusern,
- Wärmeversorgung von Betriebsgebäuden im Gewerbe und in der Industrie,
- Prozesswärmeversorgung in Gewerbe und Industrie.

Stromgeführte Betriebsweise

Die rein stromgeführte Betriebsweise von BHKW-Anlagen ist ein eher seltener Anwendungsfall. Hierbei ist der Strom die Führungsgröße bei der Lastregelung des BHKW und es steht eine jederzeit ausreichend große Senke zur Aufnahme der erzeugten Wärme zur Verfügung. Beispielsweise können Energieversorgungsunternehmen, die auch ein Fernwärmenetz betreiben, ein BHKW zur Optimierung ihres eigenen Strombezugs einsetzen. Bei zeitweilig besonders hohen Stromnetzauslastungen kann ein BHKW in Betrieb genommen werden, um den Einkauf von teuren Stromspitzen vom Vorlieferanten zu vermeiden oder zu verringern. Das Stromlastprofil des EVU bestimmt in diesem Fall allein den Einsatzzeitpunkt des BHKW, das Fernwärmenetz ist dann in der Lage, die im BHKW erzeugte Wärme jederzeit aufzunehmen. Im Allgemeinen wird durch diese Art der Betriebsführung keine große BHKW-Auslastung erreicht. Die Wirtschaftlichkeit des BHKW-Einsatzes resultiert allein aus Einsparungen durch die Optimierung des Bezugsprofils beim Stromeinkauf oder auch durch Ausnutzen von Schwankungen des Börsenpreises für Strom.

Kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise

Eine kombiniert wärme- und stromgeführte BHKW-Betriebsweise kann beispielsweise unter bestimmten Voraussetzungen für ein Krankenhaus in Betracht kommen. Das BHKW wird in diesem Fall zunächst wie bei Wärmeführung für die Deckung der Wärmegrundlast konzipiert und die Wärmeanforderung als 1. Führungsgröße für die Lastregelung des BHKW festgelegt. Typisch für Krankenhäuser ist ein regelmäßig wiederkehrender Verlauf des täglichen Strombedarfs, der gekennzeichnet ist durch eine konstante Stromgrundlast und einem überlagerten Lastprofil während des täglichen Krankenhausbetriebes. Bei der Dimensionierung eines BHKW-Aggregates kommt es zunächst darauf an, einen möglichst hohen Anteil der Wärmegrundlast und der Stromgrundlast gleichzeitig abzudecken und dabei eine hohe Auslastung des BHKW, d.h. eine hohe Anzahl an Vollbenutzungsstunden innerhalb eines Jahres zu erreichen. Ein zweites Aggregat könnte nun stromgeführt zum Einsatz kommen, um den Spitzenstrombedarf während der Krankenhausbetriebszeiten teilweise abzudecken. Die erzeugte Wärme wird dabei zur Deckung des mittleren Lastbereiches in Zeiten mit entsprechendem Wärmebedarf genutzt und in Zeiten mit geringerem Wärmebedarf zur Aufladung eines Wärmespeichers eingesetzt. Diese Betriebsweise wird erfahrungsgemäß nur dann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn die Bezugskosten für den Spitzenstrom höher sind als für den Grundlaststrom, da das zweite Aggregat geringere Vollbenutzungsstunden als das erste erreicht und daher zum Ausgleich höhere Stromgutschriften durch Verringerung des teuren Spitzenstrombezugs einfahren muss. Ähnliche Verhältnisse liegen auch in verschiedenen Bereichen des Gewerbes und der Industrie vor.

Großkunden der Energieversorgungsunternehmen hatten bisher in der Regel für ihren Strombezug Grundkosten, Arbeitskosten nach verschiedenen Tarifzonen sowie Leistungskosten zu zahlen. Aufgrund der Liberalisierung der Energiemärkte gehen heute EVU und VNB zunehmend dazu über, auch ihren Großkunden aus Wettbewerbsgründen übersichtliche und einfach strukturierte Lieferkonditionen ohne Tarifzonen und Leistungsverrechnung anzubieten. Eine wie hier dargestellte stromgeführte Betriebsweise mit geringerer BHKW-Auslastung wird unter diesen Randbedingungen kaum wirtschaftlich realisierbar sein.

Bundesimmissionsschutzgesetz

Zum Schutz der Bevölkerung vor schädlichen Belastungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche und andere Einflüsse hat der Gesetzgeber 1974 das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) erlassen, das 2002 neugefasst und zuletzt 2009 geändert wurde. Die Struktur des Gesetzes mit seinen dazugehörigen Verordnungen und Verwaltungsvorschriften ist in Abb. 9 dargestellt. Von den insgesamt acht Teilen des Gesetzes befasst sich der zweite Teil mit der Errichtung und dem Betrieb von Anlagen. Dieser zweite Gesetzesteil behandelt in § 4 bis § 21 die genehmigungsbedürftigen Anlagen und in den Folgeparagrafen § 22 bis § 25 die nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen.

In Ergänzung zu diesem Gesetz wurden zur seiner Konkretisierung Durchführungsverordnungen erlassen. In der 4. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) werden Anlagen aufgelistet, die im Sinne des Gesetzes genehmigungsbedürftig sind. Dort sind auch Verbrennungsmotoranlagen und Gasturbinenanlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme mit Feuerungswärmeleistungen von 1 MW und darüber aufgeführt. Dementsprechend sind diese Anlagen mit Feuerungswärmeleistungen von weniger als 1 MW nicht genehmigungsbedürftig im Sinne des Gesetzes.

In Abb. 10 ist für Verbrennungsmotor- und Gasturbinenanlagen die jeweilige Zuordnung zu Verordnungen und Vorschriften abhängig von der Feuerungswärmeleistung dargestellt. Verbrennungsmotoranlagen fallen ab einer Leistung von 1 MW generell unter die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft), eine Verwaltungsvorschrift für bestimmte, in der 4. BImSchV genannte, genehmigungsbedürftige Anlagen. Gasturbinenanlagen ab 1 MW bis unterhalb von 50 MW fallen ebenfalls unter die TA-Luft. Für große Gasturbinenanlagen ab 50 MW Feuerungswärmeleistung ist die 13. BImSchV, die sogenannte Großfeuerungsanlagenverordnung (GFAVO) relevant. Anlagen dieser Leistungsklasse fallen aus dem Rahmen der vorliegenden Broschüre und sind dem Bereich der Heizkraftwerke zuzuordnen.

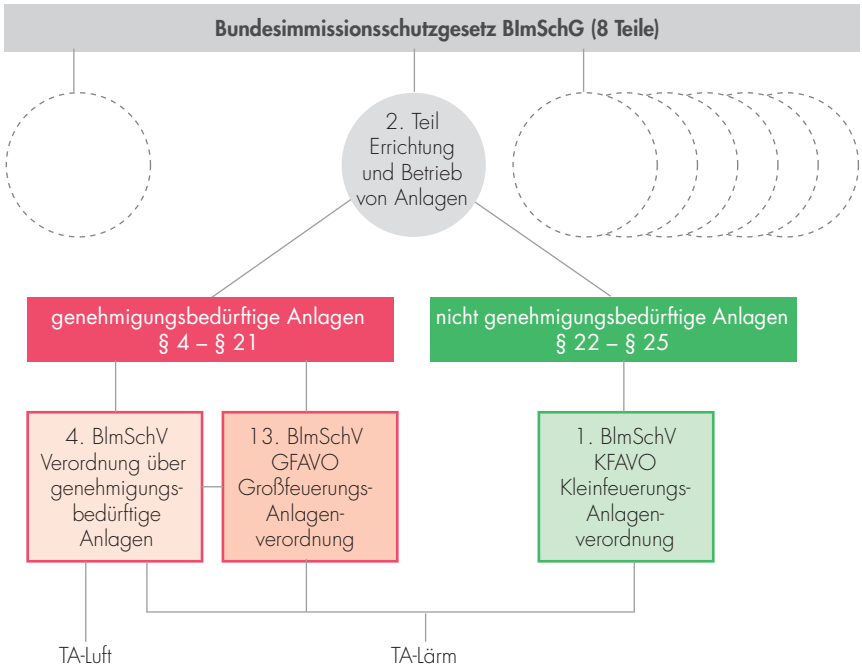


Abb. 9

Für BHKW-Anlagen ab 1 MW Feuerungswärmeleistung sind demnach die Anforderungen der TA-Luft zu beachten. Für kleinere Anlagen unterhalb von 1 MW existiert keine Rechtsverordnung, die konkrete Emissionsgrenzwerte für Schadstoffe vorschreibt. Für nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen ist zwar die 1. BImSchV (KFAVO Kleinfeuerungsanlagenverordnung) maßgebend, sie enthält Anforderungen für Wärmeerzeugungsanlagen, wie z. B. Heizkessel; Verbrennungsmotor- oder Gasturbinenanlagen werden hier jedoch nicht explizit behandelt. Im BImSchG sind allerdings in § 22 für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen allgemeine Anforderungen an Anlagenbetreiber zugrundegelegt. Danach sind alle Maßnahmen zu ergreifen, die nach dem Stand der Technik möglich sind, um Luftverunreinigungen durch Schadstoffausstoß zu vermeiden oder auf ein Mindestmaß zu begrenzen. Die auf dem Markt angebotenen BHKW-Anlagen unterhalb von 1 MW Feuerungswärmeleistung sind in der Lage, die Anforderungen der TA-Luft zu erfüllen oder deutlich zu unterschreiten. Demnach entspricht es auch für kleinere Anlagen dem Stand der Technik, die Emissionsgrenzwerte der TA-Luft einzuhalten, so dass sich hieraus eine Verpflichtung im Sinne von § 22 BImSchG für Anlagenbetreiber ableitet. Der Gesetzgeber bringt dies z. B. auch in Förderrichtlinien zum Ausdruck. Das Mini-BHKW-Impulsprogramm beinhaltet die Anforderung an zu installierende kleine BHKW-Anlagen bis 50 kW_{el}, dass die Emissionsgrenzwerte der TA-Luft eingehalten werden müssen, um die Basis-Förderung zu erhalten. Darüber hinaus werden Bonuszahlungen für den Fall gewährt, dass die halben TA-Luft-Grenzwerte nicht überschritten werden. Für das Programm stehen im Jahr 2010 leider keine Mittel mehr zur Verfügung.

Zuordnung von BHKW-Anlagen im Rahmen des BImSchG

Feuerungswärmeleistung:	< 1 MW	≥ 1 bis > 50 MW	≥ 50 MW
Verbrennungsmotoranlagen	keine Rechtsverordnung	TA-Luft	TA-Luft
Gasturbinenanlagen	keine Rechtsverordnung	TA-Luft	13. BImSchV
	Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen Umweltverpflichtung nach § 22 BImSchG	Genehmigungsbedürftige Anlagen nach 4. BImSchV	

Abb. 10

Emissionsgrenzwerte der TA-Luft

Die für BHKW-Anlagen mit Verbrennungsmotoren und Gasturbinen bei Einsatz von Erdgas relevanten Emissionsgrenzwerte der TA-Luft sind in der unten stehenden Tabelle zusammenfassend dargestellt. Bei Erdgas-Einsatz spielen ausschließlich die Schadstoffkomponenten Kohlenmonoxid und Stickoxide eine Rolle, Emissionen von Schwefelverbindungen und Staub sind hierbei aufgrund der Zusammensetzung des Erdgases ohne Bedeutung. Bezüglich der Emissionsgrenzwerte für andere Brennstoffe wie Heizöl, Biogas, Klärgas oder Grubengas sei auf die Abschnitte 5.4.1.4 und 5.4.1.5 der TA-Luft verwiesen.

Bei den Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte der TA-Luft unterscheidet man zwischen Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen. Durch Primärmaßnahmen wird versucht, den Verbrennungsprozess zu beeinflussen, um unzulässige Schadstoffemissionen zu vermeiden. Durch Sekundärmaßnahmen wird nach dem Verbrennungsprozess ein Abbau von entstandenen Schadstoffemissionen erreicht.

Stickoxide in hoher Konzentration werden besonders bei hohen Temperaturen im Verbrennungsraum gebildet. Durch konstruktive Maßnahmen kann der Verbrennungsablauf beeinflusst und dadurch bereits die Stickoxidbildung verringert werden. Eine ausreichende Begrenzung der Verbrennungstemperatur und schließlich die Einhaltung des Stickoxidgrenzwertes der TA-Luft erzielt man beispielsweise durch Erhöhung der Verbrennungsluftzufuhr.

Für den vollständigen Ablauf einer Verbrennung ist Verbrennungsluft in einer genau definierten Menge erforderlich. Eine stöchiometrische Verbrennung liegt vor, wenn gerade die theoretisch notwendige Menge Luft zugeführt wird. Dieser Fall ist durch das sogenannte stöchiometrische Verhältnis Lambda $\lambda = 1$ gekennzeichnet, wobei Lambda für das Verhältnis von tatsächlich zugeführter Luft zu der theoretisch notwendigen Luft steht. Durch Erhöhung der zugeführten Verbrennungsluftmenge deutlich über das stöchiometrische Verhältnis auf Lambda $\lambda = 1{,}8$ bis $2{,}2$, teilweise auch darüber, kann eine Begrenzung der Verbrennungstemperatur und damit eine Verringerung der Stickoxidbildung bis unter die zulässigen Werte erreicht werden. Nach diesem Prinzip arbeitende Otto-Motoren sind als sogenannte Magergasmotoren auf dem Markt erhältlich. Zur Vermeidung unzulässig hoher Emissionen von Kohlenmonoxid CO und Kohlenwasserstoffen HC werden Magermotoren Oxidationskatalysatoren für den Abbau der zu-

Emissionsgrenzwerte der TA-Luft für Verbrennungsmotor- und Gasturbinenanlagen bei Erdgas-Einsatz

	Verbrennungs-motoranlagen	**Gasturbinenanlagen** ab 70 % Last
Bezugswert für den Sauerstoffgehalt im Abgas	5 %	15 %
CO Kohlenmonoxid	300 mg/m³	100 mg/m³
NO_x Stickoxide		75 mg/m³*
- Zündstrahlmotoren und Magergasmotoren	*500 mg/m³*	
- sonstige Viertakt-Otto-Motoren	*250 mg/m³*	

* Bei Gasturbinen im Solobetrieb mit Wirkungsgraden von mehr als 32 % erhöht sich der NO_x-Grenzwert entsprechend der prozentualen Wirkungsgraderhöhung

letzt genannten Schadstoffe nachgeschaltet. Eine Alternative zu Oxidationskatalysatoren ist die thermische Nachverbrennung, bei der durch Aufheizung der Abgase die CO- und HC-Bestandteile reduziert werden. Eine Anlagenkomponente zur thermischen Nachverbrennung wird beispielsweise von GE-Jenbacher als Regenerativ-Wärmeübertrager angeboten. Magermotoren kommen in allen Leistungsklassen, insbesondere jedoch im Bereich höherer Leistungen oberhalb von etwa 500 kW zum Einsatz.

Eine stärkere Reduktion von Schadstoffen im Abgas erreicht man mit Hilfe der sogenannten 3-Wege-Katalysatoren. Die Bezeichnung resultiert aus der Eigenschaft der verwendeten Katalysatoren, die drei Schadstoffkomponenten Stickoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe gleichzeitig zu reduzieren. Hohe Konversionsraten werden bei diesem Verfahren nur in einem sehr engen Bereich des Luftverhältnisses Lambda von knapp unter Lambda $\lambda = 1$ erzielt. Zur Einhaltung eines kleinen Lambda-Fensters wird der Sauerstoffgehalt im Abgas mittels einer Sonde kontinuierlich gemessen und als Regelgröße für die Einstellung des Erdgas-Luft-Verhältnisses benutzt. Im kleinen und mittleren Leistungsbereich hat sich der geregelte 3-Wege-Katalysator aufgrund der hohen Abscheideleistung weitgehend durchgesetzt.

Bei großen BHKW-Anlagen, die nicht mit Magermotoren ausgerüstet sind, sondern beispielsweise mit Zündstrahlmotoren, wird das sogenannte SCR-Verfahren (Selective Catalytic Reduction) zur Reduktion von Stickstoffoxiden eingesetzt. Wie auch die Bezeichnung zum Ausdruck bringt, werden bei diesem Verfahren Katalysatoren verwendet, die selektiv, d.h. ausschließlich Stickoxide reduzieren können. Hierbei ist gleichzeitig die Zugabe eines geeigneten Reduktionsmittels erforderlich. Verwendet werden Ammoniak oder auch wässrige Harnstoff-Lösungen, die einfacher zu handhaben sind. Bei diesem Verfahren fallen außer den Kosten für die Anlagentechnik und die Katalysatoren zusätzliche Betriebsmittelkosten für das Reduktionsmittel an. Da das SCR-Verfahren gezielt zur Stickoxid-Abscheidung angewendet wird, sind zusätzliche Maßnahmen für den Abbau von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen erforderlich, wie beispielsweise der bereits erwähnte Einsatz von Oxidationskatalysatoren.

Bei Gasturbinenanlagen gelingt es heute, durch sogenannte Primärmaßnahmen die Emissionsgrenzwerte der TA-Luft einzuhalten. Die Brennkammern der Gasturbinenaggregate werden beispielsweise konstruktiv mehrstufig gestaltet, um Temperaturspitzen während der Verbrennung zu glätten und auf diese Weise die Stickoxidbildung zu verringern. Damit umgeht man die sonst übliche Eindüsung von Wasser in die Brennkammern zur Vermeidung unzulässiger Stickoxidemissionen.

Immissionsrichtwerte der TA-Lärm

Zum „Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche“ hat der Gesetzgeber im Rahmen des BImSchG die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-Lärm) als Verwaltungsvorschrift erlassen. Sie gilt sowohl für genehmigungsbedürftige als auch für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen und enthält Immissionsrichtwerte für Geräuschimmissionen von in Betrieb befindlichen Anlagen, die nicht überschritten werden dürfen. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen Geräuschen, die von außen auf benachbarte Gebäude einwirken und Geräuschen, die innerhalb eines Gebäudes von darin betriebenen Anlagen verursacht werden; entsprechend liegt der sogenannte Immissionsort im Sinne der TA-Lärm innerhalb bzw. außerhalb von Gebäuden.

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

Die Richtwerte für Geräuschimmissionen, die von außen auf Nachbargebäude einwirken, wurden für sechs unterschiedliche Bebauungsgebiete vom reinen Industriegebiet bis zum Kurgebiet für Tag- und Nachtzeiten festgelegt. In Abb. 11 sind die maßgebenden Immissionsrichtwerte des Schalldruckpegels für ausgewählte Gebiete im Vergleich mit dem Schalldruckpegel für normale Unterhaltung und Flüstern dargestellt. Der sogenannte Immissionsort ist dabei jeweils ein Bezugspunkt außerhalb eines Gebäudes, und zwar im Abstand von 0,5 m vor dem geöffneten Fenster des am stärksten von den Geräuschen betroffenen schutzbedürftigen Raumes des Gebäudes.

Immissionsrichtwerte der TA-Lärm für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

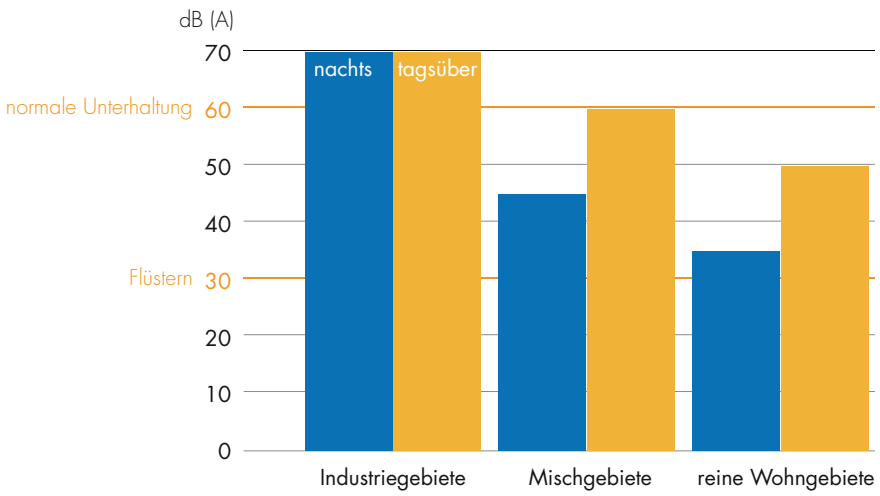


Abb. 11

Immissionsrichtwerte für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden

Bei Anlagen, die innerhalb von Gebäuden betrieben werden, sind die baulich verbundenen schutzbedürftigen Nachbarräume Immissionsorte im Sinne der TA-Lärm; bei Körperschallübertragung ist der am stärksten betroffene schutzbedürftige Raum innerhalb des Gebäudes relevant. Für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden gelten folgende Immissionsrichtwerte:

tagsüber 35 dB (A)
nachts 25 dB (A).

Bei genehmigungsbedürftigen Anlagen ist im Zuge des Genehmigungsverfahrens in der Regel eine Immissionsprognose nach den Vorgaben der TA-Lärm zu erstellen und der Nachweis zu erbringen, dass der maßgebende Immissionsrichtwert an dem jeweiligen Immissionsort nicht überschritten wird. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen ist eine Immissionsprognose dann nicht erforderlich, wenn aufgrund von Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche gewährleistet ist. Hinsichtlich weiterer Einzelheiten sei auf den ausführlichen Text der TA-Lärm verwiesen.

BHKW-Anlagen kleinerer und mittlerer Leistung werden von den Herstellern als Kompaktmodule mit der erforderlichen Schalldämmausrüstung angeboten, die den Anforderungen der TA-Lärm entsprechen. Motor- und Generatoreinheit sind in der Regel in einem Grundrahmen elastisch gelagert montiert und von außen mit entsprechend gedämmten Verkleidungen umschlossen. Weitere Elemente zur Schalldämmung sind u.a. Abgasschalldämpfer und Kompensatoren in den Anschlussleitungen. In Abhängigkeit von der Anlagengröße und der Anlagenausstattung und den jeweiligen Installationsbedingungen können weitere Schalldämmmaßnahmen, wie z. B. Zu- und Abluftschalldämpfer, Schwingungsdämpfer oder auch Dämmung des umgebenden Mauerwerks in Betracht kommen.

Planung und Auslegung

Da für die Errichtung einer BHKW-Anlage vergleichsweise hohe Investitionen erforderlich sind, ist besondere Sorgfalt und Genauigkeit bei der Planung und Auslegung unerlässlich, damit ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage gewährleistet ist. Die Zielsetzung ist es dabei im Allgemeinen, eine hohe Anlagenauslastung, d. h. lange unterbrechungsfreie Laufzeiten mit hoher Laststufe zu erreichen. Im Mittelpunkt der Planung und Auslegung steht daher zunächst die Ermittlung der richtigen Leistungsgröße. Hierzu ist eine detaillierte Analyse der wärme- und stromseitigen Randbedingungen am jeweiligen Aufstellungsort erforderlich, um die Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW an die entsprechenden Bedarfswerte anpassen zu können. Im Folgenden wird beispielhaft die Vorgehensweise bei der Dimensionierung eines wärmegeführten BHKW erläutert, dessen erzeugte Wärme, wie bei den häufigsten Anwendungsfällen, für die Gebäudebeheizung und für die Trinkwassererwärmung genutzt wird.

Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs

In diesem Fall sind für die Bestimmung der optimalen BHKW-Leistung die Kenntnis der innerhalb eines Jahres bereitzustellende Wärmemenge sowie der maximalen Wärmeleistung erforderlich. Besonders einfach hat man es, wenn die benötigte Wärmemenge durch Wärmemengenzähler erfasst wird, wie z. B. bei der Fernwärme- oder Nahwärmeversorgung üblich. In den meisten Fällen ist man jedoch darauf angewiesen, den Wärmebedarf indirekt über den in Kesselanlagen eingesetzten Brennstoff zu ermitteln. Handelt es sich beim Brennstoff um Erdgas, dann lässt sich die in einem Jahr bezogene Menge aus den Abrechnungsunterlagen des Gasversorgungsunternehmens ablesen. Bei Verwendung von Heizöl sind zur Ermittlung der Heizölmenge eines Jahres Ölzähler oder auch Betriebsstundenzähler der installierten Brenneranlage hilfreich, erfahrungsgemäß jedoch nur selten verfügbar. In der Regel stehen nur Abrechnungen über eine oder mehrere Heizöllieferungen im Jahr zur Verfügung, so dass man den Heizölverbrauch eines Jahres durch taggenaue Bilanzierung, ggf. unter Hinzuziehung der Tagesmitteltemperaturen, aus den Lieferungen ermitteln muss.

Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs Wärmebedarfsdeckung durch BHKW und Kesselanlagen

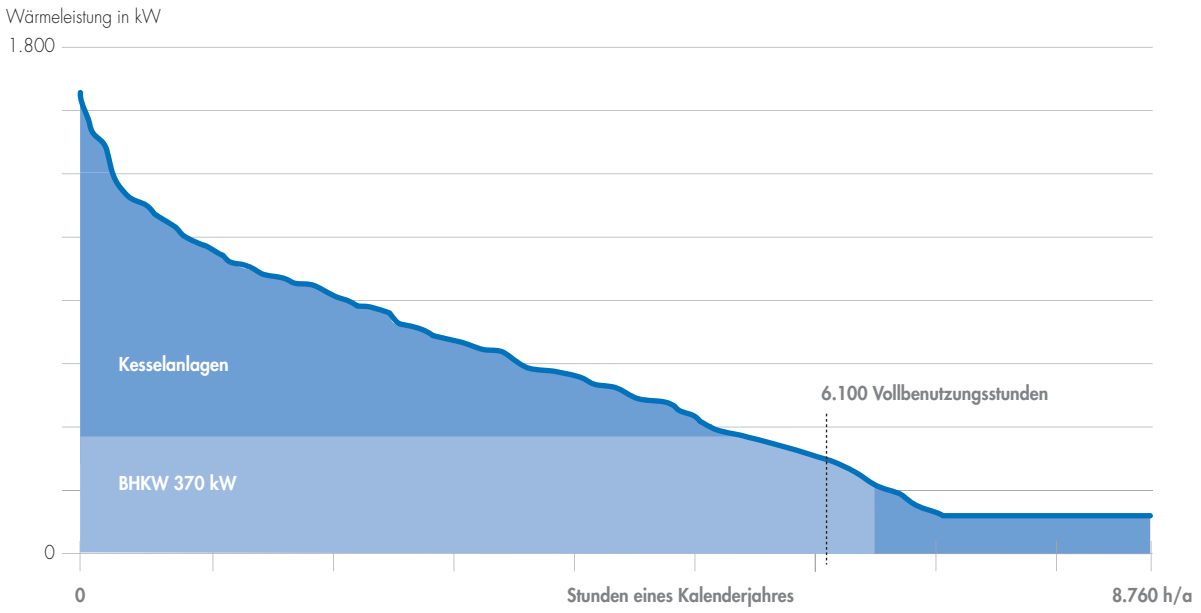


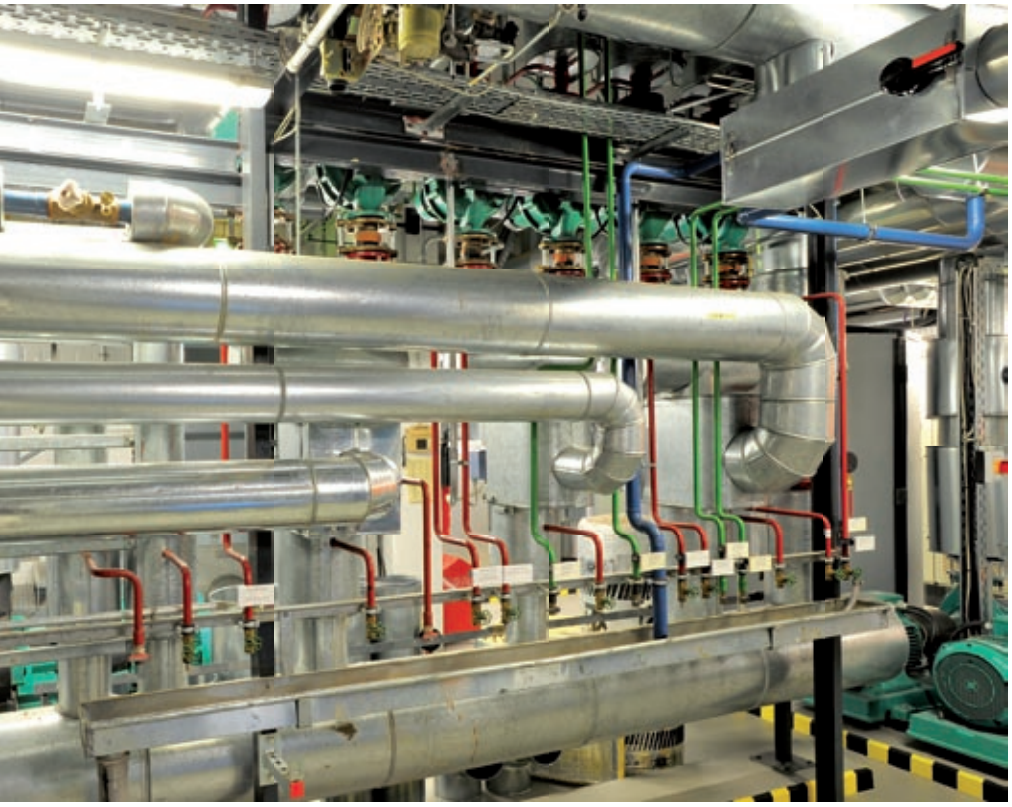
Abb. 12

Außer der in einem Jahr eingesetzten Brennstoffmenge ist zur Ermittlung der erzeugten Wärme die Kenntnis des sogenannten Jahresnutzungsgrades der Kesselanlage erforderlich. Aus den im Allgemeinen jährlich durchgeführten Emissionsmessungen gehen zunächst die Abgasverluste des Kessels bei laufendem Brenner und damit der feuerungstechnische Wirkungsgrad hervor. Rechnerisch kann damit (siehe z. B. VDI-Richtlinie 2067) der Jahresnutzungsgrad der Anlage bestimmt werden, der zusätzlich die Abstrahlungsverluste des Kessels während der gesamten Betriebsbereitschaftszeit, also auch bei Brennerstillstand, berücksichtigt. Der Jahresnutzungsgrad ist demnach auch von der Güte der Kesselisolierung, der Höhe der Kesselwassertemperatur und dem Grad der Überdimensionierung abhängig. In Untersuchungen an alten Anlagen werden oft nur Jahresnutzungsgrade zwischen 70 % und 80 % ermittelt, während richtig dimensionierte Kessel neuer Bauart heute mit Jahresnutzungsgraden von über 90 %, Brennwertkessel auch deutlich darüber, arbeiten.

Mit dem Brennstoffeinsatz eines Jahres und dem Jahresnutzungsgrad der Kesselanlagen erhält man schließlich die erzeugte Jahreswärmemenge. Erforderlich ist noch die maximale Wärmeleistung, die bei der Gebäudebeheizung an Tagen mit der niedrigsten Außentemperatur angefordert wird. Wenn diese Leistung aus Planungsunterlagen nicht bekannt ist, kann sie aus der Jahreswärmemenge unter Hinzuziehung der Tagesmittelwerte der Außentemperatur eines Jahres rechnerisch ermittelt werden. In der ASUE-Broschüre „Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern" wird an einem Praxisbeispiel die Ermittlung der Jahreswärmemenge und der maximalen Wärmeleistung eines Krankenhauses mit 225 Betten im Einzelnen vorgestellt. Als Ergebnis resultiert dort die in Abb. 12 dargestellte geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs eines Referenzjahres als Grundlage für die Dimensionierung eines BHKW. Die nach der Höhe der Wärmeleistung geordnete Linie kennzeichnet den Verlauf des Heizwärmebedarfs des Gebäudes aufgrund der jeweiligen Außentemperatur während der Dauer eines Jahres. Die Linie fußt auf einem Sockel für den Wärmebedarf zur Trinkwassererwärmung, die Gesamtfläche unterhalb der Linie entspricht der Summe aus Heizwärme und Trinkwasserwärme.

Diese geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs ist die Grundlage zur Dimensionierung einer wärmegeführt betriebenen BHKW-Anlage. Wie bereits erwähnt ist eine hohe Anlagenauslastung, d.h. eine lange möglichst unterbrechungsfreie Laufzeit, Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb. In dem genannten Praxisbeispiel wurden 6.000 Vollbenutzungsstunden als Mindestanforderung für ein BHKW zugrunde gelegt; die Vollbenutzungsstunden umfassen alle Betriebsstunden einer Anlage in unterschiedlichen Laststufen umgerechnet auf den Betriebszustand unter Volllast. Aus dem Marktangebot wurde ein BHKW-Modul mit folgenden Daten ausgewählt:

elektrische Leistung	225 kW
thermische Leistung	370 kW
Brennstoffleistung	670 kW
elektrischer Wirkungsgrad	34 %
thermischer Wirkungsgrad	55 %
Gesamtwirkungsgrad	89 %



Wie in der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs dargestellt, erreicht das BHKW 6.100 Vollbenutzungsstunden im Jahr und liefert 44 % des Gesamtwärmebedarfs, der verbleibende Wärmebedarf wird durch Kesselanlagen abgedeckt. Die Jahresdauerlinie macht deutlich, dass die thermische Leistung eines BHKW stets nur als ein Teil der maximal erforderlichen Wärmeleistung bemessen werden darf, wenn innerhalb eines Jahres eine hohe Zahl an Vollbenutzungsstunden erreicht werden soll. Die optimale Größe eines BHKW wird man im Allgemeinen durch Vergleich mehrerer Leistungsvarianten im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ermitteln. Durch die Wahl einer etwas geringeren Leistung kann zwar die Zahl der Vollbenutzungsstunden erhöht werden, andererseits kommt man in Richtung kleinerer Aggregate zu höheren spezifischen, d.h. auf die Leistung bezogenen, Investitionskosten. Umgekehrt ist ein leistungsstärkeres BHKW-Modul spezifisch günstiger hinsichtlich der Anschaffung, die erreichbaren Vollbenutzungsstunden verringern sich jedoch.

Lastgang des Strombedarfs

Darüber hinaus haben weitere Randbedingungen Einfluss auf die Wahl der Leistung eines BHKW. Wenn der erzeugte Strom zumindest teilweise dazu genutzt werden soll, den Strombedarf des BHKW-Betreibers zu decken, ist anhand von Lastganglinien des Strombedarfs zu prüfen, bei welcher Leistungsgröße das BHKW einen möglichst hohen Anteil des Strombedarfs abdeckt, damit die Strombezugskosten deutlich verringert werden können. Entsprechende Lastganglinien müssen durch Messungen des Strombedarfs ermittelt werden. Abb. 13 zeigt an dem bereits erwähnten Beispiel des Krankenhauses den messtechnisch erfassten Tageslastgang des Strombedarfs und die Stromerzeugung durch das BHKW. Die unterschiedlich markierten Flächen kennzeichnen den Anteil der Strombedarfsdeckung durch das BHKW, den in das öffentliche Netz eingespeisten Überschussstrom sowie den Zusatzstrombezug oberhalb der elektrischen Leistung des BHKW. Die Jahresstrombilanz ergibt im Fall des Praxisbeispiels eine Strombedarfsdeckung durch das BHKW in Höhe von 57 % des Gesamtstrombedarfs sowie einen Anteil von 22 % des im BHKW erzeugten Stromes, der in das öffentliche Netz eingespeist wird.

Tageslastgang des Strombedarfs Bedarfsdeckung durch BHKW, Zusatzstrombezug und Einspeisung

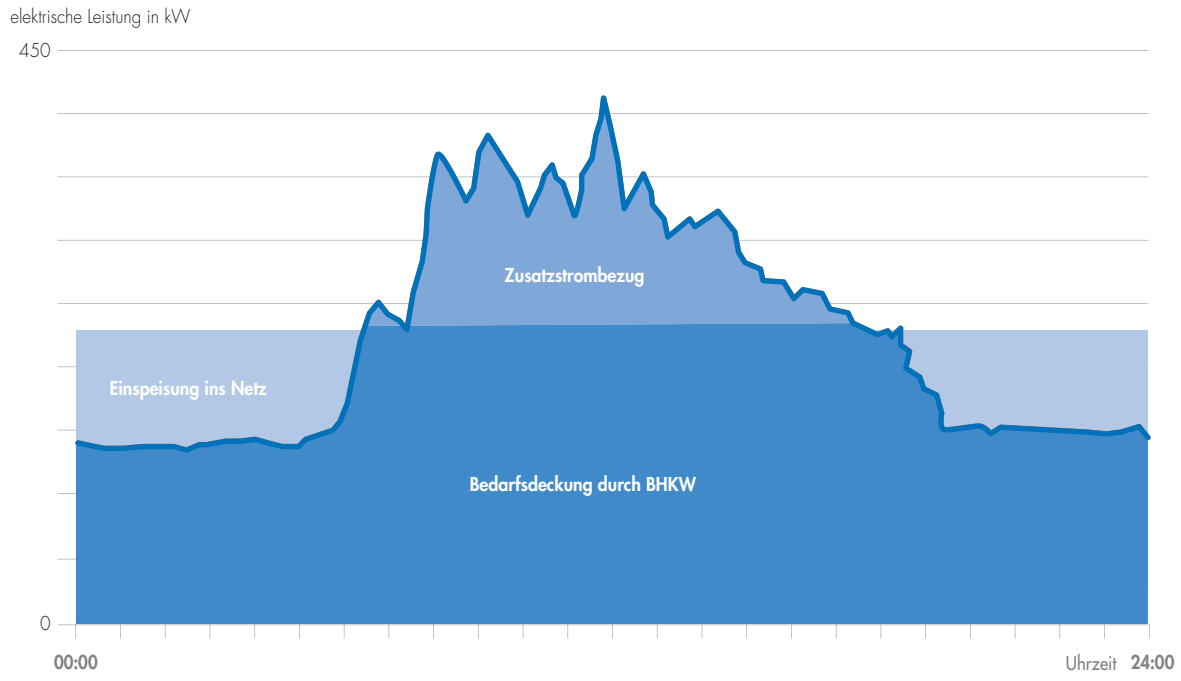


Abb. 13

Zukünftige Änderungen des Wärme- und Strombedarfs

Einer Istanalyse der wärme- und stromseitigen Randbedingungen liegen der bautechnische Istzustand und die aktuelle Nutzungsstruktur eines Gebäudes zugrunde. Wenn diesbezüglich zukünftige Änderungen erwartet werden, sind bei der BHKW-Dimensionierung alle geplanten strukturellen und bautechnischen Maßnahmen zu berücksichtigen, die Einfluss auf den Strom- und Wärmebedarf eines Objektes haben. Hierzu gehören beispielsweise

- Verringerung des Wärmebedarfs durch Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung (u.a. Dach-, Fassadenisolierung, Fenstererneuerung),
- Verringerung des Wärmebedarfs durch Optimierung der Heizungsregelungen,
- Erhöhung des Wärmebedarfs durch bauliche Gebäudeerweiterungen,
- Änderung des Wärme- und Strombedarfs durch Veränderung der gerätetechnischen Gebäudeausstattung (EDV, Küche, Wäscherei, Werkstatt, Klimatisierung, usw.),
- strukturelle Veränderungen der Gebäudenutzung (Änderung von Betriebszeiten, Änderung der Raumnutzung und Anpassung der Raumtemperatur).

Nur durch frühzeitige Berücksichtigung entsprechender Planungsdaten kann man sicherstellen, dass ein BHKW über den gesamten Nutzungszeitraum von im Allgemeinen 15 Jahren das erwartete wirtschaftliche Ergebnis liefert.

Modulare Anlagenkonzeption

Der bisher dargestellten BHKW-Konzeption lag die Zielsetzung zugrunde, unter den wärme- und stromseitigen Randbedingungen eines Anwendungsfalles die optimale Leistungsgröße für ein BHKW mit einem Aggregat zu ermitteln. Alternativ kann die Gesamtleistung auch auf zwei oder mehrere entsprechend kleinere Aggregate aufgeteilt werden. Diese werden dann beispielsweise dem Wärmebedarf folgend nacheinander in Stufen in Betrieb genommen und zeitweise parallel betrieben. Diese modulare Anlagenkonzeption hat verschiedene Vor- und Nachteile im Vergleich mit der „1 Aggregat"-Variante, die im Folgenden gegenübergestellt sind.

Nachteile der modularen Anlagenkonzeption sind höhere Aufwendungen zunächst für die Installation eines BHKW sowie in der Folge für Wartung und Instandhaltung. Die spezifischen, d. h. auf die Leistung eines BHKW bezogenen Investitionen sinken mit zunehmender Leistungsgröße (siehe auch ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten 2010"). Gleiches gilt für die spezifischen Wartungs- und Instandhaltungskosten, so dass ein BHKW mit nur einer Motoreinheit diesbezüglich wirtschaftlich vorteilhafter ist als ein BHKW gleicher Leistungsgröße mit zwei oder mehr Motoreinheiten.

Ein Vorteil des modularen Aufbaus ist die bessere Anpassung der Erzeugungsleistung an eine sich verändernde Leistungsanforderung zum Beispiel durch den mittelfristig geplanten Anschluss zusätzlicher Wärme- und Stromverbraucher aufgrund baulicher Erweiterungen. Würde man in einem solchen Fall ein BHKW mit nur einer Motoreinheit für den späteren Endausbau dimensionieren, wären längere Betriebszeiten im ungünstigen Teillastbereich die Folge, in dem der elektrische Wirkungsgrad geringer ist als bei Nennleistung. Allerdings muss hierbei auch berücksichtigt werden, dass leistungsstarke Aggregate im Allgemeinen bei Nennleistung mit höheren elektrischen Wirkungsgraden arbeiten als Aggregate mit geringerer Leistung. Darüber hinaus wird in dem dargestellten Fall bei der einmotorigen Variante zeitweise unnötig Kapital gebunden. Die modulare Konzeption ermöglicht hier die bedarfsorientierte Erweiterung eines BHKW.

Ein anderer Vorteil der modularen Anlagenkonzeption ist die höhere Verfügbarkeit eines BHKW im Vergleich mit der einmotorigen Konzeption. Bei Ausfall eines von mehreren Aggregaten ist nur ein Teil der Gesamtstromleistung des BHKW durch Strombezug vom Versorgungsunternehmen zu kompensieren. Ebenso können Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an einem Aggregat bei laufendem Betrieb anderer Aggregate durchgeführt werden, ohne das BHKW insgesamt stillzusetzen.

Im Rahmen der vorliegenden Broschüre können nur die grundlegenden Aspekte im Zusammenhang mit der Planung und Auslegung von BHKW-Anlagen vorgestellt werden. Im Allgemeinen ist es notwendig, ein erfahrenes Planungsbüro bei der Durchführung der vielschichtigen und komplexen Arbeiten einzuschalten, um den wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb eines BHKW gewährleisten zu können. Für eine erste Abschätzung des richtigen BHKW sei auf die „BHKW-Checkliste" der ASUE hingewiesen. Weitere Informationen finden sich unter www.asue.de in der Rubrik „Blockheizkraftwerke". Für die detaillierte Planung eines BHKW ist die VDI-Richtlinie 3985 ein geeigneter Leitfaden („Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von KWK-Anlagen mit Verbrennungskraftmaschinen").

Vor- und Nachteile von BHKW mit einem Aggregat und mehreren Aggregaten

	ein größeres	mehrere kleinere
Investitionsaufwand	+	–
Wartungs- und Instandhaltungsaufwand	+	–
Leistungsanpassung	–	+
Verfügbarkeit	–	+

Wirtschaftlichkeit von BHKW

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines BHKW werden alle mit der Installation und dem Betrieb der Anlage verbundenen jährlichen Kosten sowie erzielbaren Vergütungen im Vergleich zu einem Referenzfall ohne BHKW ermittelt. Dieser Referenzfall ist in der Regel die Wärmeerzeugung in Kesselanlagen und der Strombezug zur vollständigen Bedarfsdeckung von Seiten eines Energieversorgungsunternehmens.

Die relevanten jährlichen Kosten und erzielbaren Vergütungen setzen sich wie nachfolgend dargestellt zusammen; hierbei wird auf das bereits erwähnte Praxisbeispiel in der ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern " Bezug genommen.

Kapitalgebundene Kosten

Die kapitalgebundenen Kosten resultieren aus den erforderlichen Investitionen zur Errichtung des BHKW. In der Regel werden aus Gründen der Redundanz parallel zum BHKW Spitzenlastkessel mit der gleichen Leistungsgröße wie im Referenzfall ohne BHKW installiert. Die auf die Kesselanlagen entfallenden Investitionen haben dann keinen Einfluss auf das Ergebnis der Vergleichsrechnung und können unberücksichtigt bleiben. Die für das BHKW relevanten Investitionen umfassen im wesentlichen

- die Kosten für die Anschaffung des BHKW-Moduls,
- die Kosten für Zubehör (z. B. Pufferspeicher, zusätzlicher Brennwertwärmeübertrager, erweiterte Steuerung und Regelung u.a.),
- die Kosten für die bauliche Einbindung (gas- , wasser- und stromseitige Anschlüsse u.a.),
- Planungskosten (z. B. nach HOAI bei Einschaltung externer Planungsbüros),
- Kostenpauschale für Unvorhergesehenes.

Richtwerte für die Kosten der Anschaffung eines BHKW-Moduls können der ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten 2010" entnommen werden. Dort sind spezifische, d.h. auf die elektrische Leistung bezogene, Anschaffungskosten angegeben, die in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung variieren.

Aufteilung der für eine BHKW-Anlage erforderlichen Investitionen
in Prozent; Praxisbeispiel Krankenhaus, insgesamt 320 T €

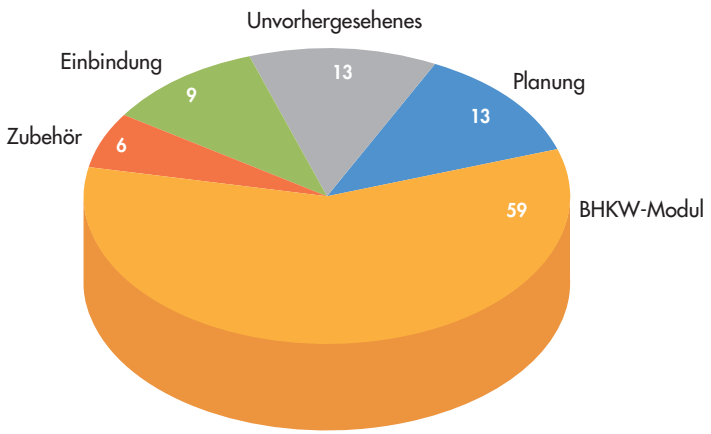


Abb. 14

Richtwerte für die spezifischen Investitionen von Erdgas-BHKW	
kleine BHKW (ca. 10 kW)	4.000 € / kW
große BHKW (ca. 2.000 kW)	400 € / kW

Zur Veranschaulichung der Kostenaufteilung sind in Abb. 14 die prozentualen Kostenanteile aus dem Praxisbeispiel eines Krankenhauses (siehe ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern") dargestellt.

Die jährlichen Kapitalkosten werden annuitätisch unter Zugrundelegung eines marktüblichen Zinssatzes und eines Finanzierungszeitraumes ermittelt. Als Finanzierungszeitraum kann die für ein BHKW zu erwartende Nutzungsdauer von 15 Jahren oder bei höheren Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit auch ein kürzerer Zeitraum von beispielsweise 10 Jahren gewählt werden. Im Fall des Praxisbeispiels Krankenhaus ergibt sich bei einem Zeitraum von 10 Jahren und einem Zinssatz von 4 % eine Annuität von 12,33 %. In Höhe dieses Prozentsatzes der Gesamtinvestitionen sind dann die jährlichen kapitalgebundenen Kosten anzusetzen.

Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten werden einerseits durch den Brennstoffeinsatz in das BHKW verursacht. Aus den jährlichen Vollbenutzungsstunden, die im Rahmen der Planung und Auslegung ermittelt werden und der Brennstoffleistung des BHKW ergibt sich dessen jährlicher Brennstoffbedarf. Darüber hinaus ist der Brennstoffeinsatz für den Spitzenlastkessel zu berücksichtigen. Unter Zugrundelegung des maßgeblichen Brennstoffpreises (Praxisbeispiel 4,1 Cent / kWh(H_s) Erdgas) resultieren schließlich die Jahresbrennstoffkosten als verbrauchsgebundene Kosten.

Betriebsgebundene Kosten

Betriebsgebundene Kosten entstehen durch Wartung und Instandhaltung, Personalaufwand für Bedienung und Beaufsichtigung sowie Verwaltung und sonstigen Aufwand. Für Wartung und Instandhaltung werden von den Herstellern Vollwartungsverträge angeboten, die alle erforderlichen laufzeitabhängigen Leistungen vom Ölwechsel bis zur Generalüberholung des Motors umfassen. Zur Verrechnung der Leistungen werden üblicherweise spezifische, d.h. auf die Strommenge bezogene, Kostensätze zugrunde gelegt, die von der elektrischen Leistung eines BHKW abhängig sind.

Richtwerte für die spezifischen Kosten von Vollwartungsverträgen

kleine BHKW (ca. 20 kW_{el})	2,5 Cent / kWh
große BHKW (ca. 2000 kW_{el})	0,75 Cent / kWh
Praxisbeispiel (225 kW_{el})	1,5 Cent / kWh.

Für Personalaufwand sowie für Verwaltung und Sonstiges können entsprechend der VDI-Richtlinie 2067 prozentuale Pauschalsätze in Abhängigkeit von den Sachinvestitionen, d.h. Investitionen ohne Planungskosten, zugrunde gelegt werden.

Betriebsgebundene Kosten in Prozent der Sachinvestitionen

Personalaufwand für Bedienung und Beaufsichtigung	3 %
Verwaltung und Sonstiges	1,5 %.

Betriebsgebundene Kosten der Spitzenlastkessel können im Rahmen der Vergleichsrechnung unberücksichtigt bleiben, da sie in gleicher Höhe beim Referenzfall ohne BHKW anfallen.

Strombezugskosten

Bei vielen BHKW-Anwendungen wird durch den erzeugten Strom der Strombedarf des BHKW-Betreibers nicht vollständig, sondern nur teilweise abgedeckt. Der verbleibende Strombedarf wird durch Bezug von Zusatzstrom vom EVU gedeckt. Da sich durch die Eigenstromerzeugung der ursprüngliche Fremdstrombezug verringert, ist unter Umständen eine Erhöhung des Strompreises für den verbleibenden Bezug von Zusatzstrom die Folge. Darüber hinaus können zusätzliche Kosten für die Vorhaltung von Reservestrom durch das EVU fällig werden, der bei einem BHKW-Ausfall in Anspruch genommen werden muss.

Die Stromkosten des Referenzfalls ohne BHKW sind die Kosten des vollständigen Fremdstrombezugs.

Im Fall des Praxisbeispiels liegen folgende unterschiedliche Strompreise zugrunde:

Strompreis für Zusatzstrombezug – BHKW	14,87 Cent / kWh_{el}
Strompreis für Vollstrombezug – Referenzfall	13,83 Cent / kWh_{el}

Kostenverringernde Steuer- und Stromvergütungen

Nach dem Energiesteuerrecht hat der Betreiber einer Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlage Anspruch auf Erstattung der zuvor entrichteten Energiesteuer, wenn die Anlage einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % erreicht. Bei Erdgaseinsatz ergibt sich eine Vergütung der Erdgassteuer in Höhe von 0,55 Cent / kWh.

Wenn der in einem BHKW erzeugte Strom nicht oder nur teilweise zur Deckung des Eigenstrombedarfs eingesetzt sondern vollständig oder teilweise in das öffentliche Netz eingespeist wird, erhält der Betreiber des BHKW für die Einspeisung eine Vergütung. Die Einspeisevergütung soll nach dem KWK-Gesetz 2009 zwischen dem BHKW-Betreiber und dem Netzbetreiber vereinbart werden. Sofern eine Vereinbarung nicht zustande kommt, wird die Einspeisevergütung zusammengesetzt aus dem durchschnittlichen Quartalspreis für den an der Leipziger Strombörse EEX gehandelten Strom und den sogenannten vermiedenen Netznutzungsentgelten (Einzelheiten hierzu siehe ASUE-Broschüre „KWK-Gesetz 2009"). Im Fall des Praxisbeispiels Krankenhaus wurde eine Vergütung für die Stromeinspeisung von insgesamt 3,74 Cent / kWh ermittelt.

Darüber hinaus werden BHKW-Anlagen nach dem KWK-Gesetz 2009 gefördert. Betreiber erhalten sogenannte Zuschlagzahlungen für den in einer KWK-Anlage insgesamt erzeugten Strom. Für den Anteil elektrischer Leistung bis 50 kW wird ein Zuschlagssatz von 5,11 Cent / kWh gezahlt, dieser verringert sich auf 2,1 Cent / kWh für den Leistungsanteil zwischen 50 kW und 2 MW. Kleine Anlagen bis 50 kW werden 10 Jahre gefördert, größere Anlagen 6 Jahre lang bis höchstens 30.000 Vollbenutzungsstunden.

Resultierende Einsparungen

Durch Gegenüberstellung der ermittelten Jahreskosten des BHKW und der entsprechenden Kosten des Referenzfalls ohne BHKW kommt man zu einer Bewertung der Wirtschaftlichkeit des BHKW-Betriebs, wie nachfolgend an dem Praxisbeispiel des Krankenhauses (ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern") dargestellt.
Das BHKW mit einer elektrischen Leistung von 225 kW und einer Brennstoffleistung von 670 kW erreicht 6100 Vollbenutzungsstunden im Jahr und arbeitet mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 34 % sowie einem thermischen Wirkungsgrad von 55 %.

	Referenzfall	BHKW
Kapitalgebundene Kosten (Kapitaldienst)		39,5
Verbrauchsgebundene Kosten	246,0	325,1
Betriebsgebundene Kosten		33,2
Strombezugskosten	260,0	120,9
Steuer- und Stromvergütungen		– 74,4
Summe der Jahreskosten	506,0	444,2
Einsparungen BHKW		61,7

in T€/a

Aufgrund der erreichten jährlichen Einsparungen sind in diesem Fall die Installation und der Betrieb des BHKW wirtschaftlich attraktiv. Auch nach Ablauf der KWK-Förderung und entsprechend verringerten Stromvergütungen verbleiben Einsparungen auf Seiten des BHKW, die den Betrieb des BHKW rechtfertigen.

Amortisationszeit

Häufig wird die Amortisationszeit zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit benutzt, die den Zeitraum angibt, in dem durch Betriebskosteneinsparungen ein vollständiger Rückfluss des eingesetzten Kapitals erreicht wird. Die Betriebskosteneinsparungen erhält man im Fall des Praxisbeispiels durch den Vergleich der reinen Betriebskosten ohne kapitalgebundene Kosten zwischen BHKW und Referenzfall. Aus dem Verhältnis der Investitionen zu den Betriebskosteneinsparungen ergibt sich die Amortisationszeit.

	Referenzfall	BHKW
Summe der jährlichen Betriebskosten (Jahreskosten ohne Kapitaldienst) in T€/a	506,0	404,8
Betriebskosteneinsparungen in T€/a		101,2
Investitionen in T€		320,0
Amortisationszeit in a		3,2

Der Einfluss von Änderungen des Gas- und Strompreises auf die Amortisationszeit ist für das Praxisbeispiel in Abb. 15 dargestellt. Die Auswirkungen von Preisänderungen auf die Amortisationszeit sind beim Gas weniger stark ausgeprägt als beim Strom. Da in Zukunft beim Strom eher Preissteigerungen als Preissenkungen erwartet werden können, werden sich die Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen BHKW-Betrieb tendenziell verbessern.

Amortisationszeit über Änderungen des Gas- und Strompreises

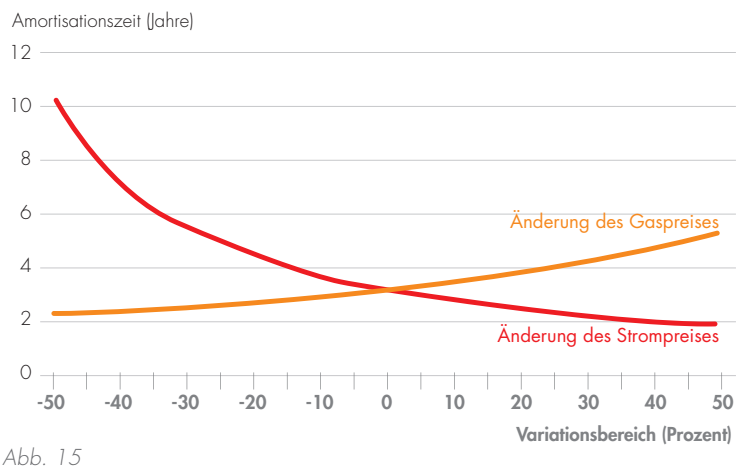


Abb. 15

Betreibermodelle

In den privaten Bereichen der Wirtschaft kommen zum Teil BHKW-Projekte mit guten Voraussetzungen für einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb nicht zu einer Realisierung. Dann ist wenig Interesse vorhanden, Eigenkapital und Aufmerksamkeit in ein BHKW zu investieren, das nicht unmittelbar dem eigentlichen Geschäftszweck dient sondern den Nebenbetrieben zuzuordnen ist. Im öffentlichen Sektor scheitern BHKW-Projekte aufgrund knapper Haushaltskassen.

In solchen Fällen ist gegebenenfalls ein Betreibermodell, wie z. B. das Contracting, eine wirtschaftlich interessante Alternative zu der Umsetzung eines BHKW-Projektes mit eigenen Mitteln. Bei einem Betreibermodell übernimmt ein Dritter, ein sogenannter Contractor, die Investition und die Betriebsführung einer BHKW-Anlage und alle damit verbundenen Aufgaben. Als Contractoren sind heute z. B. Versorgungsunternehmen, spezialisierte Ingenieur- und Beratungsbüros sowie Installationsunternehmen im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung tätig. Der Contractor stellt die erforderlichen finanziellen Mittel bereit und verfügt über die notwendigen personellen Ressourcen, Kenntnisse und Erfahrungen für die Errichtung und die effiziente Betriebsführung einer BHKW-Anlage. Als Vergütung für die erbrachten Dienstleistungen erhält er ein Entgelt für die gelieferten, messtechnisch zu erfassenden, Wärme- und Strommengen. Betreibermodelle sind in vielfältiger Form gestaltbar. Einzelheiten werden z. B. in der ASUE-Broschüre „Contracting für Krankenhäuser“ ausführlich behandelt.

Gebäudebeheizung

Der Bestand der zu beheizenden Gebäude unterschiedlichster Nutzung stellt ein großes potenzielles Einsatzgebiet für BHKW-Anlagen nahezu aller Leistungsklassen dar. Aufgrund des außentemperaturabhängigen Verlaufs des Heizwärmebedarfs wird ein BHKW bei der Gebäudebeheizung stets zur Abdeckung der Grundlast ausgelegt, damit ausreichend lange Laufzeiten erreicht werden, wie in Kapitel 5 anhand der Jahresdauerlinie dargestellt ist. Im Einzelnen sind weitere Randbedingungen zu berücksichtigen, die wärmeseitig die Vollbenutzungsstunden beeinflussen. In Wohngebäuden ist beispielsweise eine zentrale Trinkwarmwasserversorgung für eine höhere BHKW-Auslastung vorteilhaft. Die Laufzeit mindernd wirken sich beispielsweise eingeschränkte Nutzungszeiten eines Gebäudes aus, wie im Fall von Schulgebäuden oder Verwaltungsgebäuden, da hier die Zeiten mit abgesenkter Raumtemperatur überwiegen. Stromseitig wird in den genannten Anwendungsbeispielen häufig der größere Anteil des erzeugten Stromes in das öffentliche Netz eingespeist aufgrund des eher geringen Eigenstrombedarfs für Beleuchtung, PC, Haushaltsgeräte und ähnliche andere Stromverbraucher. Für die Wirtschaftlichkeit eines BHKW maßgebend ist dann die erreichbare Einspeisevergütung, wenn durch entfallenden Strombezug keine ausreichend hohen Einsparungen erzielt werden können. Unter bestimmten Voraussetzungen kann für BHKW-Betreiber mit entsprechenden Erfahrungen auch der Stromverkauf an Dritte in Betracht kommen (siehe ASUE-Broschüre „KWK-Gesetz 2009“). Eine vorteilhafte Bewertung des erzeugten Stromes können auch EVU als BHKW-Betreiber durch Optimierung ihres Stromeinkaufs erreichen.

Bei den Wohngebäuden kamen in der Vergangenheit BHKW-Anlagen meistens nur bei größeren Mehrfamilienhäusern zum Einsatz, da auf dem Markt Anlagen mit geringer Leistung für kleinere Gebäude nur in geringem Umfang verfügbar waren. Inzwischen findet auch der große Bestand an Ein- und Zweifamilienhäusern in dem Marktangebot an BHKW-Anlagen mehr Berücksichtigung. Sogenannte Strom erzeugende Heizungen oder auch Mikro-BHKW-Anlagen verfügen über elektrische Leistungen von 1 kW und wenig darüber und sind speziell für den Einsatz parallel zu einem Heizkessel in kleinen Wohngebäuden konzipiert. Dabei werden zur Zeit auch andere Antriebsaggregate als Verbrennungsmotoren erprobt. In der Markteinführungsphase befindet sich momentan ein 1-kW BHKW mit Stirlingmotor, das sich bereits in mehreren Feldversuchen bewährt hat. Auch die Brennstoffzelle, die nach dem elektrochemischen Prinzip Strom erzeugt und ohne bewegliche Anlagenteile auskommt, wird in Versuchen auf ihre Eignung für die Verwendung in kleinen BHKW-Anlagen getestet.

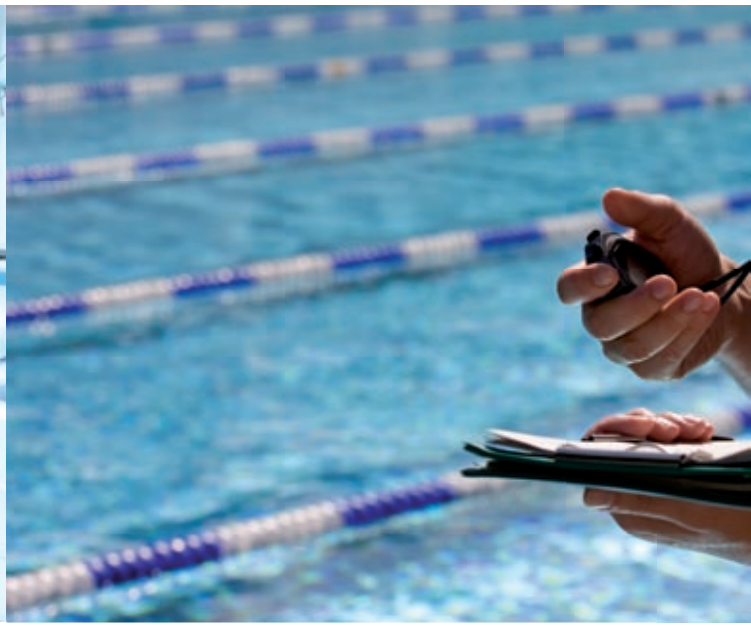
Krankenhäuser

Besonders gute Voraussetzungen für den Einsatz von BHKW-Anlagen bieten Krankenhäuser mit ihrer Wärme- und Strombedarfsstruktur. Der Heizwärmebedarf wird hier im Allgemeinen durch einen hohen Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung unterschiedlicher Bereiche ergänzt, wie z. B. Patientenzimmer, Bäderabteilungen. Stromseitig verursachen Lüftungsanlagen, Pumpen der Heizung und Wasserversorgung sowie ein Teil der Beleuchtung ganztägig einen weitgehend konstanten Grundlastbedarf, der tagsüber durch den Strombedarf verschiedener Funktionsbereiche wie OP, Küche, Wäscherei und der Aufzüge überlagert wird. Erfahrungsgemäß gelingt es, ein BHKW für die Wärmegrundlast auszulegen, das hohe Vollbenutzungsstunden erreicht und gleichzeitig einen großen Teil des Strombedarfs abdeckt, so dass ein wirtschaftlicher Betrieb des BHKW darstellbar ist.

In der Regel sind in Krankenhäusern zumindest einige Funktionsbereiche wie OP klimatisiert, wobei heute noch überwiegend Kompressionskälteanlagen zum Einsatz kommen. Wenn stattdessen Absorptionskälteanlagen installiert werden, lässt sich die Auslastung eines BHKW in den Sommermonaten verbessern, in denen statt Heizwärme Kälte zur Klimatisierung benötigt wird und die Wärme des BHKW für den Antrieb von Absorptionskälteanlagen genutzt wird. *Bezüglich Einzelheiten zum Einsatz von „BHKW in Krankenhäusern" wird auf die gleichlautende ASUE-Broschüre verwiesen.*

Hallenbäder und beheizte Freibäder

Der ganzjährige Wärmebedarf für die Beckenwassererwärmung und die Duschbereiche sowie ein weitgehend konstanter Strombedarf für die Umwälzpumpen und Lüftungsanlagen sind gute Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb von BHKW-Anlagen in Hallenbädern. Beheizte Freibäder kommen für den Einsatz mobiler BHKW-Anlagen in Betracht, die außerhalb der Freibadsaison an einem anderen Aufstellungsort weiterbetrieben werden können.

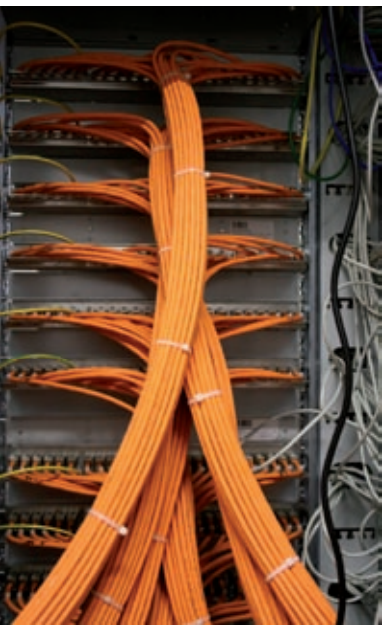


Erdgasentspannungsanlagen

Erdgas wird auf dem Weg zum Verbraucher über Ferngasleitungen bei hohen Drücken bis etwa 70 bar transportiert und in Übergabestationen nach Reduzierung auf einen Druck von ca. 5 bar oder weniger in die Leitungsnetze von Gasversorgungsunternehmen eingespeist. Die Drosselung ist mit einer Absenkung der Temperatur des Gases verbunden, das vorgewärmt werden muß, um eine Unterkühlung und Vereisung zu verhindern. Die Temperaturabsenkung fällt noch höher aus, wenn bei der Drosselung Entspannungsgasturbinen zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Die zur Vorwärmung des Gases erforderliche Wärme kann durch Einsatz eines BHKW zur Verfügung gestellt werden.

EDV-Zentren

EDV-Zentren verfügen über einen hohen Stromgrundlastbedarf der Rechenanlagen und Kältebedarf der Klimaanlagen. Durch den kombinierten Einsatz eines BHKW und einer Absorptionskälteanlage kann es unter bestimmten Randbedingungen mit einer speziellen Anlagenkonfiguration gelingen, ganzjährig den Strombedarf nahezu vollständig durch Eigenstromerzeugung ohne Überschussstrom zu decken und gleichzeitig die Wärme des BHKW für den Antrieb der Absorptionskälteanlage zu nutzen. In diesem Fall sind die Voraussetzungen für einen besonders wirtschaftlichen BHKW-Einsatz erfüllt.



Gewerbe- und Industriebetriebe

Die Einsatzmöglichkeiten für BHKW-Anlagen in den unterschiedlichen Branchen im Bereich Gewerbe und Industrie sind sehr vielfältig, so dass an dieser Stelle nur die grundsätzlichen Einsatzvoraussetzungen und einige Beispiele genannt werden. Die bereits oben im Rahmen der Gebäudebeheizung behandelten Anwendungen sind in ähnlicher Weise für Bürogebäude und betrieblich genutzte Gebäude relevant. Interessant sind darüber hinaus Verwendungsmöglichkeiten für Strom und Wärme aus BHKW-Anlagen im Bereich der Produktion. Wärmeseitig ist bei kleinen und mittleren BHKW-Anlagen mit Verbrennungsmotoren das Temperaturniveau der Wärme von etwa 90 °C maßgebend für einen Einsatz. In Betracht kommen daher Prozesse mit hohem Bedarf an Warmwasser und auch Kälte, die in Absorptionskälteanlagen hinter BHKW erzeugt werden kann. Relevant sind u.a. verschiedene Bereiche der Nahrungsmittelindustrie wie Betriebe der Fleischverarbeitung, Molkereien oder Brauereien. Abnehmer für den Strom aus BHKW-Anlagen sind in diesen Fällen Verarbeitungsmaschinen, Abfüll- und Transportanlagen.

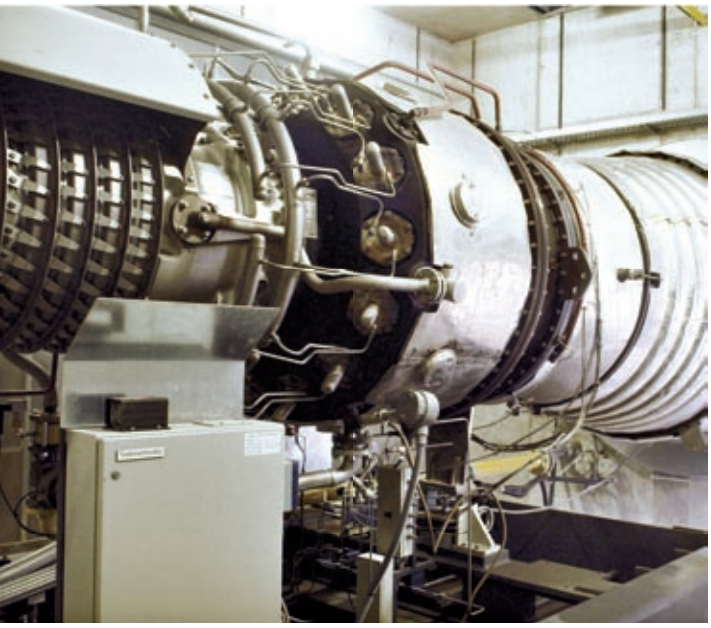
Für Produktionsprozesse, die Wärme auf höherem Temperaturniveau, z. B. in Form von Dampf, benötigen, eignen sich BHKW-Anlagen mit Gasturbinen, die neben dem Strom ausschließlich Abgaswärme bei Temperaturen um 500 °C für die Dampferzeugung in Abhitzekesseln liefern. Papierfabriken

bieten z. B. sehr gute Voraussetzungen für den Einsatz von Gasturbinenanlagen, die hier nahezu ganzjährig ununterbrochen Strom für den Antrieb und Dampf für die Beheizung der Papiermaschinen liefern. In vielen Bereichen der Nahrungsmittelindustrie kommen beispielsweise Sprühtrocknungsanlagen zum Einsatz, in denen mittels Dampf beheizte Heißluft für die Herstellung pulverförmiger Produkte (Trockenmilch u.ä.) eingeblasen wird. Einen hohen Dampfbedarf hat die chemische Industrie, um nur einen weiteren für BHKW mit Gasturbinen relevanten Bereich zu nennen. Die Abgase von Gasturbinenanlagen haben einen hohen Sauerstoff-Restgehalt von ca. 15 %, der eine Zusatzfeuerung durch Zufuhr weiteren Brennstoffes im Abhitzekessel ermöglicht. Dadurch kann die Dampferzeugungsleistung im Abhitzekessel über einen weiten Leistungsbereich dem häufig variablen Dampfbedarf der angeschlossenen Verbraucher angepasst werden.

Beispiele für die direkte Nutzung von Abgasen aus BHKW-Anlagen wurden bereits in Kapitel 3 erwähnt (CO_2-Düngung in Gärtnereien, Trocknung von Ziegeln in Trocknungskammern).

Kläranlagen

In Kläranlagen wird durch biologische Zersetzung des Klärschlamms in Faultürmen Klärgas produziert. Es wird zum Teil in Kesselanlagen zur Erzeugung von Heizwärme eingesetzt, die für die Beheizung der Foultürme erforderlich ist; überschüssiges Klärgas wird abgefackelt. Eine effizientere Energieausnutzung wird durch den Einsatz des Klärgases in einer BHKW-Anlage erreicht. Die erzeugte Wärme wird für die Faulturmbeheizung und der erzeugte Strom zur Deckung des Strombedarfs der Kläranlage verwendet. Der Strombedarf resultiert überwiegend aus den mechanischen Antrieben von Rührwerken, Transport- und Zerkleinerungsanlagen.



BHKW für ein EDV-Zentrum der E.ON Ruhrgas AG

Bild oben: Gebäude der E.ON Ruhrgas AG mit EDV-Zentrum
Bild Mitte und unten links: BHKW-Module
Bild unten rechts: Absorptionskälteanlage

Für die Energieversorgung eines EDV-Zentrums und Verwaltungsgebäudes der E.ON Ruhrgas AG in Essen ist ein Blockheizkraftwerk mit insgesamt 4 Aggregaten im Einsatz. Das BHKW deckt nahezu vollständig den Strombedarf der Rechenanlagen und der übrigen Stromverbraucher des Gebäudes. Die erzeugte Wärme wird im Sommer als Antriebsenergie für eine Absorptionskälteanlage genutzt, die Kälte zur Kühlung der Rechenanlagen und zur Klimatisierung des Bürogebäudes liefert. Im Winter wird die im BHKW erzeugte Wärme sowohl zur Deckung des Kältebedarfs der Rechenanlagen wie auch für die Beheizung des Bürogebäudes verwendet. Heizwärme- und Kältebedarf gemeinsam führen zu einer ganzjährig weitgehend gleichmäßigen Abnahme der in dem BHKW erzeugten Wärme.

Das BHKW umfasst 4 baugleiche Aggregate des Herstellers GE Jenbacher mit folgenden Leistungsdaten:

elektrische Leistung	330 kW
thermische Leistung	363 kW
Brennstoffleistung (Erdgas)	851 kW
elektrischer Wirkungsgrad	38,8 %
thermischer Wirkungsgrad	42,6 %
Gesamtwirkungsgrad	81,4 %.

Die Kenndaten der Absorptionskälteanlage des Herstellers York sind

Wärmeleistung (Antriebsseite)	913 kW
Kälteleistung	640 kW

Drei der vier BHKW-Aggregate sind stets gleichzeitig parallel in Betrieb, das vierte wird für Reservezwecke in Betriebsbereitschaft gehalten. Mit der BHKW-Anlage gelingt eine nahezu autarke Energieversorgung des EDV-Zentrums. Zusätzliche Kesselanlagen sind nicht erforderlich, Stromeinspeisung ins öffentliche Netz und Fremdstrombezug in geringem Umfang sind ohne Bedeutung.

Mobiles BHKW der Stadtwerke Rinteln GmbH

Eines von mehreren Blockheizkraftwerken der Stadtwerke Rinteln GmbH wird während eines Jahres wechselweise an zwei Standorten betrieben. Im Winterhalbjahr ist das BHKW in einer Gasübergabestation und Druckregelanlage im Einsatz. Hier wird Erdgas vom Gasvorlieferanten bei einem Druck von etwa 30 bar übernommen und auf den Druck des Verteilnetzes der Stadtwerke von 23 mbar reduziert. Bei der Drosselung des Gases kommt es aufgrund des Joule-Thomson-Effektes zu einer Abkühlung des Gases, das erwärmt werden muss, um unzulässige Unterkühlungen und Vereisungen zu vermeiden. Während bisher die erforderliche Wärme in Gasthermen erzeugt wurde, wird nun größtenteils die BHKW-Wärme zur Gasaufheizung genutzt. Der erzeugte Strom wird in das Stromverteilnetz der Stadtwerke eingespeist.

In den Sommermonaten, in denen der Heizgasbedarf zurückgeht, verringert sich entsprechend der Wärmebedarf in der Gasübergabestation. Das BHKW wird in dieser Zeit in der Energiezentrale des städtischen Freibades installiert. Hier wird die erzeugte Wärme zur Beckenwassererwärmung sowie zur Duschwassererwärmung genutzt.

Das BHKW des dänischen Herstellers EC Power mit einer elektrischen Leistung von maximal 15 kW wurde erstmals im September 2009 bis April 2010 in der Gasübergabestation eingesetzt. In dieser Zeit erzeugte es im Vollastbetrieb rund 41.000 kWh Strom und erreichte dabei insgesamt den vom Hersteller angegebenen elektrischen Wirkungsgrad von 30 %.

Durch den kombinierten Einsatz an zwei unterschiedlichen Standorten mit jeweils saisonbedingtem hohen Wärmebedarf erreicht das BHKW ganzjährig eine hohe Auslastung und erfüllt damit die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb.

Bild oben: Beheiztes Freibad in Rinteln
Bild links und rechts oben: BHKW in der Gasübergabestation
Bild rechts unten: Gasübergabe- und Druckregelstation

Kontakt:
Sven Schaper, Stadtwerke Rinteln GmbH
Tel.: 05751 / 70042
info@stadtwerke-rinteln.de
www.stadtwerke-rinteln.de

BHKW zur Wärmeversorgung einer Wohngebäudeanlage in Laatzen

Bild oben: MFH-Komplex der Wohnungsgenossenschaft Laatzen
Bild unten: BHKW in der Dachheizzentrale

Kontakt:
Jörg Wegener, enercity Contracting GmbH
Tel.: 05 11 - 4 30 - 23 33
joerg.wegener@enercity-contracting.de
www.enercity-contracting.de

Die enercity Contracting GmbH, eine 100 %ige Tochtergesellschaft der Stadtwerke Hannover AG, ist als Contractor für die Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauskomplexes der Wohnungsbaugenossenschaft Laatzen verantwortlich. Die Versorgung der insgesamt 238 Wohnungen mit Raumheizwärme und Trinkwarmwasser erfolgt über eine Dachheizzentrale, in der zunächst ein Brennwertkessel und ein Niedertemperaturkessel mit Leistungen von 640 kW bzw. 870 kW für die Gesamtwärmeversorgung vorhanden waren.

Im Zuge der Sanierung der Wärmeversorgung entschied die enercity Contracting GmbH, ein BHKW für die Wärmegrundlastversorgung der Wohnungen zu installieren. Die Analyse der vorhandenen Daten führte zur Wahl eines BHKW-Moduls des Herstellers Sokratherm mit folgenden Leistungsdaten:

elektrische Leistung	140 kW
thermische Leistung	216 kW
Brennstoffleistung (Erdgas)	392 kW
elektrischer Wirkungsgrad	35,7 %
thermischer Wirkungsgrad	55,1 %
Gesamtwirkungsgrad	90,8 %.

Da sich die Dachheizzentrale unmittelbar über dem Schlafzimmer einer Wohnung befindet, waren besonders hohe Anforderungen an den Schallschutz zu erfüllen. Durch zusätzliche, über den serienmäßigen Umfang hinausgehende Schallschutzmaßnahmen gelang es in Zusammenarbeit mit dem BHKW-Hersteller, Geräuschbelästigungen der Bewohner zu minimieren und den für die Nachtstunden relevanten Immissionsrichtwert der TA-Lärm von 25 db (A) für Immissionsorte innerhalb von Gebäuden einzuhalten.

Das in 2009 installierte BHKW hat in den ersten 5 Monaten des Jahres 2010 bereits 2780 Vollbenutzungsstunden erreicht und dabei 73 % der benötigten Wärmemenge erzeugt. Der Betreiber erwartet aufgrund der bisherigen Betriebserfahrungen für 2010 insgesamt über 6500 Vollbenutzungsstunden und eine Wärmebedarfsdeckung durch das BHKW von etwa 60 %. Der erzeugte Strom wird in das Netz des örtlichen Versorgungsnetzbetreibers, der ebenfalls zu den Stadtwerken Hannover gehörenden enercity-Netzgesellschaft mbH, eingespeist.

Die Anlage arbeitet durch den Einsatz von Biomethan besonders umweltfreundlich und hat bisher einen Gesamtnutzungsgrad von rund 90 % erreicht.

BHKW in der Energiezentrale der LWL-Klinik Lippstadt

Die Gebäude der LWL-Klinik für Psychiatrie in Lippstadt mit insgesamt ca. 1000 Betten werden über eine Energiezentrale mit Wärme für die Raumheizung und die Trinkwassererwärmung versorgt. In Ergänzung zu zwei Kesselanlagen mit einer Gesamtleistung von 11 MW wurden hier im Jahr 2007 zwei BHKW-Module von Sokratherm mit einer elektrischen Leistung von jeweils 140 kW und einer thermischen Leistung von jeweils 216 kW installiert. Das BHKW wird kombiniert wärme- und stromgeführt im Leistungsbereich von 80 % - 100 % der Nennleistung betrieben und hat in den ersten beiden Betriebsjahren wie geplant jährlich 8500 Vollbenutzungsstunden erreicht.

Die im BHKW erzeugte Wärme wird zur Wärmegrundlastversorgung der Klinik eingesetzt. Der erzeugte Strom wird vollständig für die Deckung des Strombedarfs der Klinik genutzt, eine Stromeinspeisung ins öffentliche Netz ist nicht vorgesehen. In 2009 wurde durch die Eigenstromerzeugung ein Deckungsanteil von 80 % des Gesamtstrombedarfs erreicht.

Folgende Nutzungsgrade hat das BHKW im Jahr 2009 erreicht:

elektrischer Nutzungsgrad	34,4 %
thermischer Nutzungsgrad	55,9 %
Gesamtnutzungsgrad	90,3 %.

Aufgrund der hohen Auslastung des BHKW und des hohen Stromdeckungsgrades wurde wie erwartet innerhalb von nur zwei Jahren eine Amortisation des eingesetzten Kapitals erreicht.

Kontakt:
Franz-Josef Heiming, LWL-Klinik Lippstadt
Tel.: 0 29 45 - 9 81 - 55 10
fj.heiming@wkp-lwl.org, www.lwl-klinik-lippstadt.de

Bild oben: Verwaltungsgebäude der LWL-Klinik Lippstadt
Bild Mitte: Einbringung der BHKW-Module in die Energiezentrale
Bild unten: In der Energiezentrale installierte BHKW-Module

Mikro-BHKW mit Stirling-Motor für Einfamilienhäuser

Bild oben: Einfamilienhaus im Feldtest, 180 qm Wohnfläche
Bild links: Whispergen Stirlingmotor-BHKW, Innenansicht
Bild rechts: Installiertes Stirlingmotor-BHKW mit kombiniertem Puffer/Warmwasser- Speicher

Für den großen Bestand an Einfamilienhäusern waren bisher BHKW-Anlagen mit entsprechend kleiner Leistung serienreif nicht verfügbar. Aktuell werden von verschiedenen Herstellern Kleinst-BHKW entwickelt und auf den Markt gebracht, die auf den Strom- und Wärmebedarf von privaten Haushalten zugeschnitten sind. Dabei werden auch Alternativen zum Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat untersucht, wie zum Beispiel die Brennstoffzelle oder der Stirling-Motor.

In einem Feldtest hat die GASAG Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft ein Mikro-BHKW mit Stirling-Motor seit November 2007 für den Einsatz in Einfamilienhäusern und anderen Objekten ähnlicher Größe untersucht. Der Stirling-Motor verfügt auch wie der Verbrennungsmotor über ein Kolben-Zylinder-System, in dem thermische Energie in Bewegungsenergie umgewandelt wird. Während beim Verbrennungsmotor der Brennstoff selbst als Arbeitsmedium eingesetzt wird, das durch Verbrennung im Zylinder expandiert und dadurch den Kolben in Bewegung bringt, bilden beim Stirling-Motor Zylinder, Kolben und ein Arbeitsgas ein geschlossenes System, dem von außen thermische Energie über einen separaten Brenner zugeführt wird. Durch Heizen und Kühlen an verschiedenen Zylinderseiten werden Druckunterschiede innerhalb des Zylinders und durch Führung des Arbeitsgases abwechselnd zu den heißen und kalten Seiten kontinuierliche Kolbenbewegungen erzeugt (siehe auch ASUE-Broschüre „Die Strom erzeugende Heizung"). Vorteile des Stirling-Motors sind geringer Verschleiß, niedriger Geräuschpegel sowie umweltfreundlicher emissionsarmer Betrieb durch leicht kontrollierbare Verbrennung.

Bei dem Feldtest der GASAG kam ein Stirlingmotor-BHKW vom Typ Whispergen mit einer elektrischen Leistung von 1 kW und einer thermischen Leistung bis zu 12 kW zum Einsatz. Insgesamt wurden 32 Anlagen in verschiedenen Objekten im Stadtgebiet von Berlin erfolgreich getestet.

Inzwischen hat die GASAG ausgehend von den Feldtestergebnissen über ihre Tochtergesellschaft DSE den Vertrieb eines weiterentwickelten Whispergengerätes mit verbesserten Leistungsdaten aufgenommen. Diese Anlagen erreichen nach Herstellerangaben elektrische Nutzungsgrade von 10 % bis 11 % und thermische Nutzungsgrade von mehr als 85 %, bei niedrigen Heizwasserrücklauftemperaturen und Brennwertnutzung sogar über 95 %.

Kontakt:
DSE Direkt-Service Energie GmbH
BHKW-Hotline Tel.: 0 30 - 78 72 - 15 00
info@dse-vertrieb.de
www.energie-neu-entdecken.de

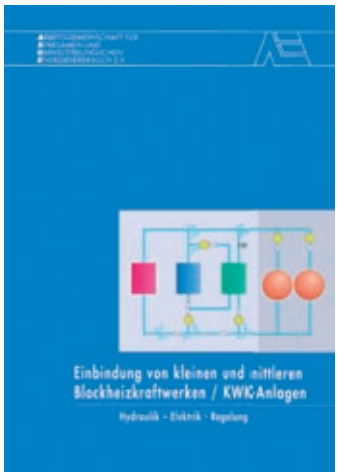
Weitere Informationen

www.asue.de

Die ASUE betreibt seit Jahren eine umfangreiche Medienarbeit zu aktuellen Themen. Pressemeldungen, Grafiken und Fachartikel stellen Zusammenhänge, technische Lösungen und Handlungsoptionen rund um den Themenkreis „Energieeffizienz/CO_2-Minderung/Klimaschutz" anschaulich dar.

BHKW-Kenndaten 2010
erscheint demnächst

Das KWK-Gesetz 2009 – Grundlagen, Förderung, praktische Hinweise
Best.-Nr. 05 12 09



BHKW in Krankenhäusern
Best.-Nr. 05 01 10

Einbindung von kleinen und mittleren BHKW-/KWK-Anlagen
Best.-Nr. 05 01 07

Impressum

Herausgeber

ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
Stauffenbergstraße 24
10785 Berlin
Telefon: 0 30 / 23 00 50 92
Telefax: 0 30 / 23 00 58 98
www.asue.de, info@asue.de

Bearbeitung

ASUE-Arbeitskreis „Brennstoffzellen/Blockheizkraftwerke",

insbesondere
Dr. Wolfgang Nowak, Lindlar
Dr. Jochen Arthkamp, Essen

Grafik

Kristina Weddeling, Essen

Bezug

Verlag Rationeller Erdgaseinsatz
Manfred Eichenherr
Kiwittsmoor 30
22417 Hamburg
Fax: 0 40 / 53 789 268

BHKW-Grundlagen
Bestellnummer: 06 06 10
Schutzgebühr: 3,00 Euro
Stand: Juni 2010

Die Herausgeber übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben.

www.asue.de

Überreicht durch: