ASUE
Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

BHKW-Fibel

Wissen in kompakter Form

www.asue.de

Die vorliegende Broschüre bietet interessierten Nicht-Fachleuten einen verständlichen Überblick rund um das Thema Kraft-Wärme-Kopplung in dezentralen Blockheizkraftwerken. Fachleuten, die nicht kontinuierlich damit befasst sind, dient die Broschüre zum Nachschlagen verschiedener Themenaspekte.

In kompakter Form werden alle wesentlichen Informationen über Blockheizkraftwerke dargestellt:

- Funktionsweise und Aufbau
- Vorteile im Vergleich mit der konventionellen Energieversorgung
- verschiedene Arten der Betriebsführung
- Bedeutung einer sorgfältigen Analyse der Einsatzbedingungen als Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb
- Praxisbeispiele

Inhalt

4 **Herausforderung**
Energiewende und Neustrukturierung der Energieversorgung

6 **Lösungsweg KWK**
Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) – Stand und Perspektive

10 **Funktionsweise und Aufbau**
Die Komponenten einer BHKW-Anlage

14 **Ressourcen- und Umweltschonung**
BHKW versus Kraftwerk und Heizkessel

18 **Konzeption und Betriebsweise**
Anpassung an die Einsatzbedingungen

22 **Auslegung**
Die richtige Leistungsgröße

26 **Wirtschaftlichkeit**
Relevante Jahreskosten

32 **Einsatzgebiete**

39 **Vertiefende Informationen**

Energiewende und Neustrukturierung der Energieversorgung

Die klassische, heute noch überwiegende Form der Energieversorgung ist die Erzeugung von Strom in zentralen großen Kraftwerken und die separate verbrauchernahe Erzeugung von Wärme in dezentralen Kesselanlagen.

Besonders die Stromerzeugung in Großkraftwerken unter Einsatz von fossilen Brennstoffen ist nachteilig aufgrund

- hoher Energieverluste,
- hoher CO_2-Emissionen.

Insbesondere die zentrale Stromerzeugung in Kernkraftwerken ist keine Option mehr für die Zukunft aufgrund

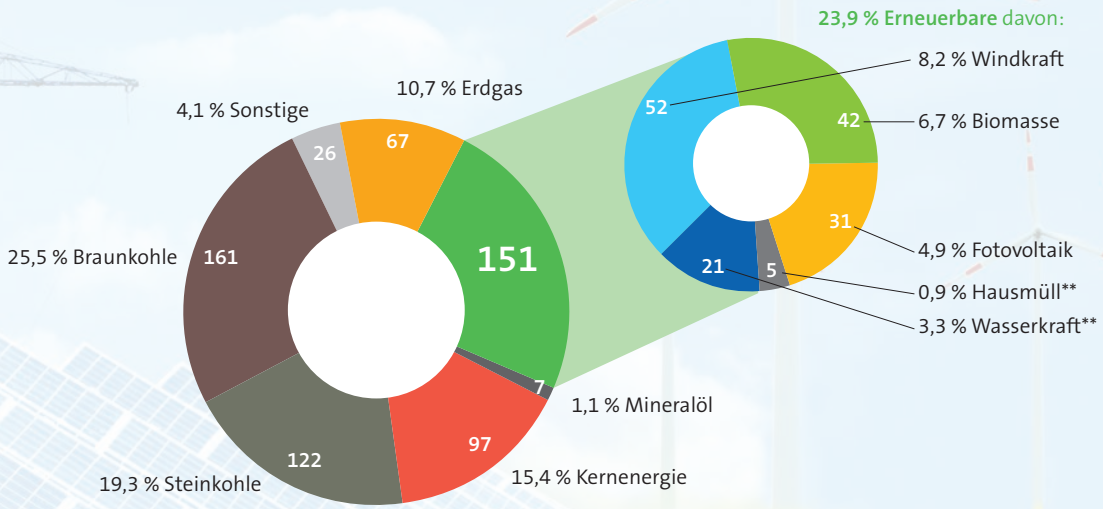
- unbeherrschbarer Risiken,
- ungelöster Probleme bei der Entsorgung radioaktiven Abfalls,
- fehlender gesellschaftlicher Akzeptanz.

In Zukunft soll die Energieversorgung aus erneuerbaren Energien forciert werden, wobei die Stromerzeugung aus Windenergieanlagen und aus Photovoltaikanlagen eine zentrale Rolle spielen soll. Hierzu ist zusätzlich eine zunehmend dezentrale Energieversorgung – z. B. mit Kraft-Wärme-Kopplung – erforderlich.

Ziel der Neustrukturierung der Energieversorgung ist die Reduzierung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % bis 95 % gegenüber dem Vergleichsjahr 1990.

Im Jahre 2011 hat die Bundesregierung den endgültigen schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie bis Ende 2022 beschlossen.

Bruttostromerzeugung in Deutschland 2013*: insgesamt 632 TWh



* Vorläufig; ** Regenerativer Anteil; Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB)

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) – Stand und Perspektive

Ressourcenschonung

Auf dem Weg zu einer neuen, emissionsarmen Energieversorgung werden die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas noch einen wesentlichen Beitrag leisten müssen. Es ist daher von großer Bedeutung, diese Ressourcen sparsam und umweltfreundlich zu verwenden, um bereits heute und in naher Zukunft möglichst wenig Treibhausgase zu emittieren.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) leistet hierbei einen wesentlichen Beitrag. Strom und Wärme werden als Koppelprodukte in einer Anlage erzeugt statt örtlich getrennt in verschiedenen Anlagen.

Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung sind:

- geringere Energieverluste aufgrund hoher Nutzungsgrade
- geringere Emissionen
- Entlastung elektrischer Netze durch dezentrale Stromerzeugung.

Stand und politische Zielsetzung

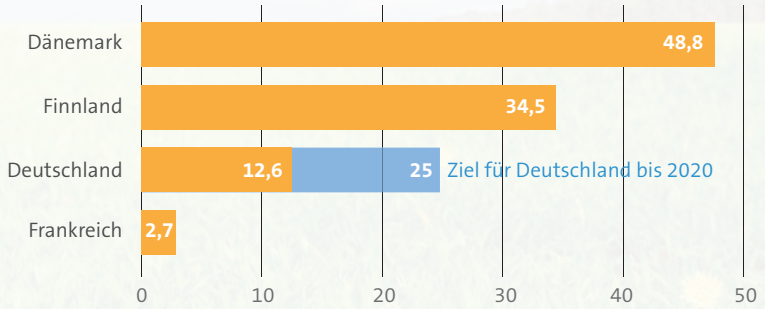
Der Anteil an KWK-Strom, d.h. der durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom, ist in Deutschland zur Zeit noch gering. Dieser Anteil lag in Deutschland im Jahre 2014 bei rund 16 %.

Entsprechend der energie- und klimapolitischen Zielsetzung der Bundesregierung soll der Anteil von KWK-Strom an der Gesamtstromerzeugung bis zum Jahr 2020 auf 25 % erhöht werden.

Flankiert wird die Zielsetzung unter anderem durch das KWK-Gesetz, welches erstmalig im Jahr 2002 in Kraft getreten ist und durch das die Modernisierung und die Neuerrichtung von KWK-Anlagen gefördert wird. Im Zuge der beschlossenen Energiewende sollen Regelungen des KWK-Gesetzes novelliert werden, um weitergehende Anreize für den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung zu schaffen.

Anteil KWK-Strom in 2012 an der Gesamtstromerzeugung

in einzelnen Ländern in Prozent



Datenquelle: Eurostat

Die Bedeutung dezentraler Blockheizkraftwerke (BHKW)

Die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung in großen zentralen Heizkraftwerken bleibt im Wesentlichen auf Ballungsgebiete beschränkt, da eine großräumige Wärmeverteilung über Rohrleitungen aufwändig und verlustbehaftet ist. Eine besondere Bedeutung kommt daher der dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung in kleinen und mittelgroßen Blockheizkraftwerken zu, die ohne aufwändige Wärmenetze auskommen und hohe Gesamtwirkungsgrade von etwa 90 % erreichen. Einsatzgebiete sind beispielsweise Wohngebäude, Krankenhäuser sowie Industrie- und Gewerbebetriebe.

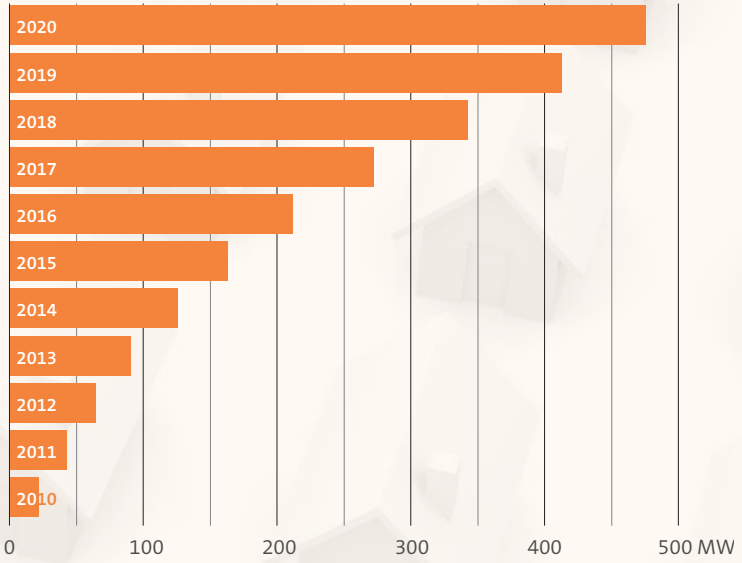
Zusätzlichen Nutzen erlangen dezentrale BHKW-Anlagen in Zukunft als sogenannte virtuelle Kraftwerke, die Kapazitätsschwankungen in den Stromnetzen bei wachsenden Stromanteilen aus erneuerbaren Energien ausgleichen können.

Das Zubaupotenzial für BHKW-Anlagen bis zum Jahr 2020 ist groß:

- ca. 500 MW für kleine BHKW bis 50 kW_{el}
- ca. 4.200 MW für alle BHKW bis 2 MW_{el}

Quelle: Prof. Dr. Uwe Leprich, 8. Juni 2011, Berlin

Zubaupotenzial für kleine BHKW bis 50 kW_{el}*



* kumuliert

Die Komponenten einer BHKW-Anlage

Die Hauptkomponenten eines Blockheizkraftwerks sind:

- Gasmotor, Gasturbine o.ä.
- Generator zur Stromerzeugung
- Wärmeübertrager zur Wärmeauskopplung

Darüber hinaus umfasst die Ausrüstung eines Blockheizkraftwerks im Wesentlichen die folgenden weiteren Komponenten:

- Steuerungs- und Regelungseinrichtungen
- Komponenten zur Minderung von Schadstoffemissionen (in vielen Fällen 3-Wege-Katalysator zur Stickoxidreduzierung)
- die Abgasanlage
- Zuluft- und Ablufteinrichtungen
- Schallschutzeinrichtungen
- die Anschlüsse für Brennstoffzufuhr sowie für Wärme- und Stromauskopplung

Als Antriebsaggregate kommen in den meisten Fällen Verbrennungsmotoren zum Einsatz, bei speziellen Anwendungen in der Industrie auch Gasturbinen. Im Bereich kleiner und mittlerer Leistungen haben sich modifizierte Otto- und Dieselmotoren aus der Serienfertigung von PKW und LKW bewährt.

Darüber hinaus gibt es noch Stirling-Motoren, die sich durch ihren geringen Wartungsaufwand auszeichnen sowie Brennstoffzellen, denen in Zukunft ein großes Potential vorhergesagt wird, da sie höhere elektrische Wirkungsgrade erzielen können als die vorab genannten Wärme-Kraft-Maschinen.

Als Brennstoffe werden Erdgas, Bio-Erdgas, Heizöl, Klärgas, Deponiegas, Grubengas und Biogas eingesetzt. Erdgas ist aufgrund der geringen Emissionen besonders vorteilhaft.

BHKW-Anlagen kleiner und mittlerer Leistung werden von den Herstellern als kompakte Module mit integrierten Komponenten anschlussfertig für die Installation am Aufstellungsort angeboten, die allen relevanten gesetzlichen Vorschriften, wie z. B. TA-Luft oder TA-Lärm, entsprechen.

Eine umfangreiche Zusammenstellung von Anlagendaten in einem weiten Leistungsbereich von weniger als 1 kW_{el} bis zu mehreren MW_{el} bietet die ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten“.

Verbrennungsmotor im Fahrzeug und Blockheizkraftwerk

Der Motor liefert mechanische Energie, die in Fahrzeugen über das Getriebe für den Antrieb der Räder genutzt wird. In einem BHKW hingegen treibt der Motor einen Generator an, in dem Strom erzeugt wird. Ungefähr ein Drittel der im Motor eingesetzten Brennstoffenergie kann als mechanische Antriebsenergie genutzt werden, der Rest entfällt auf die Abgaswärme am Motoraustritt sowie auf die Motorabwärme, die über den Kühlwasserkreislauf abgeführt wird.

Im Fahrzeugbetrieb werden diese Wärmemengen überwiegend ungenutzt an die Umgebung abgegeben; lediglich an kalten Tagen wird Kühlwasserwärme zur Fahrzeugbeheizung verwendet. **In einem BHKW** hingegen werden Abgaswärme und Motorabwärme über Wärmetauscher ausgekoppelt und als Nutzwärme angeschlossenen Verbrauchern zur Verfügung gestellt. In den meisten Fällen wird diese Nutzwärme auf einem Temperaturniveau von ca. 90 °C als Heizwärme für die Gebäudebeheizung und die Trinkwassererwärmung verwendet. Darüber hinaus werden BHKW auch in den Bereichen Gewerbe und Industrie eingesetzt, wobei die Wärme für Prozesszwecke, auch bei höheren Temperaturen, genutzt wird.

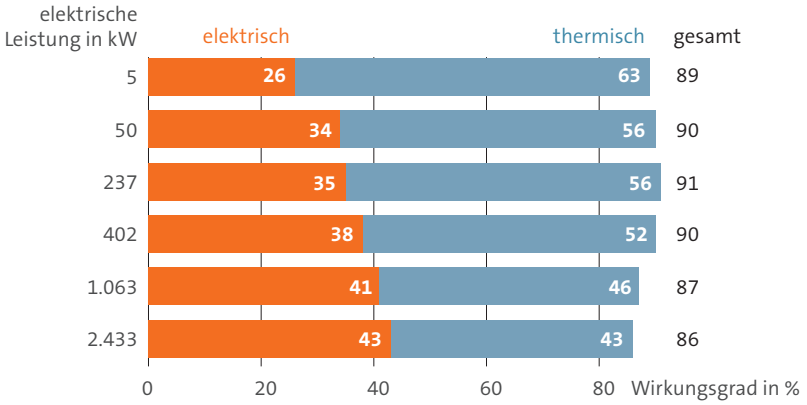
Die Motorlaufzeiten in Fahrzeugen und in BHKW-Anlagen sind sehr unterschiedlich. Die Betriebsweise eines Verbrennungsmotors in einem Fahrzeug ist gekennzeichnet durch häufige Starts, ständige Lastwechsel und nur kurze Phasen mit konstanter Leistung. Aufgrund dieser Anforderungen erreichen Fahrzeugmotoren Laufzeiten von insgesamt nicht mehr als 3.000 – 4.000 Stunden. In BHKW-Anlagen arbeiten Verbrennungsmotoren stationär mit weitgehend konstanter Leistung; häufige Starts und Lastwechsel werden möglichst vermieden. Bei dieser Betriebsweise werden aufgrund der geringeren Anforderungen Laufzeiten je nach Motorgröße zwischen 30.000 und 100.000 Stunden erreicht.

Wirkungsgrade

Durch die gleichzeitige Nutzung der beiden Koppelprodukte Strom und Heizwärme („Kraft-Wärme-Kopplung“) werden in Blockheizkraftwerken hohe Gesamtwirkungsgrade von etwa 90 % erreicht. Die elektrischen Wirkungsgrade reichen von etwa 30 % bei Motoren mit kleineren Leistungen bis über 40 % bei Großmotoren; die thermischen Wirkungsgrade variieren zwischen etwa 60 % bei den kleinen und ca. 45 % bei den großen Motoren.

Für verschiedene Anwendungen werden heute auf dem Markt BHKW-Anlagen in einem weiten Leistungsbereich angeboten, beginnend bei etwa 1 kW bis hin zu mehreren 1.000 kW Antriebsleistung. Einen detaillierten Marktüberblick bietet die ASUE-Broschüre BHKW-Kenndaten.

Wirkungsgrade von BHKW mit unterschiedlichen Leistungen



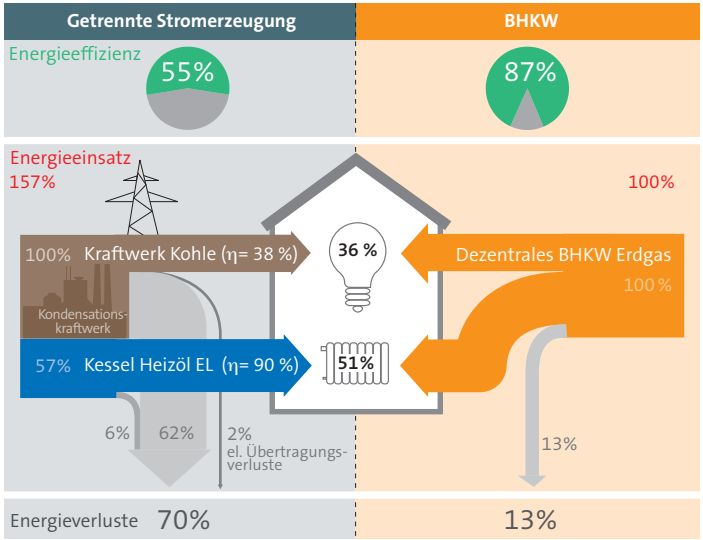
nach Herstellerangaben, siehe auch ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten“

BHKW versus Kraftwerk und Heizkessel

Primärenergieeinsparungen

Aufgrund der hohen Gesamtwirkungsgrade sind Blockheizkraftwerke besonders vorteilhaft im Hinblick auf die sparsame Verwendung fossiler Brennstoffe und die Verringerung von Schadstoffemissionen. In einem Systemvergleich mit der konventionellen, getrennten Strom- und Wärmeerzeugung lassen sich die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung in BHKW-Anlagen quantitativ darstellen.

Legt man als Vergleichsfall die zentrale Stromerzeugung in einem Kohlekraftwerk und die verbrauchernahe, dezentrale Wärmeerzeugung in einem Heizkessel zugrunde, dann resultieren für das BHKW Primärenergieeinsparungen in Höhe von 36 %, wenn in beiden Fällen die gleiche vorgegebene Strommenge und Heizwärmemenge bereitgestellt werden.



Einsparung Primärenergie* durch BHKW: 36 %

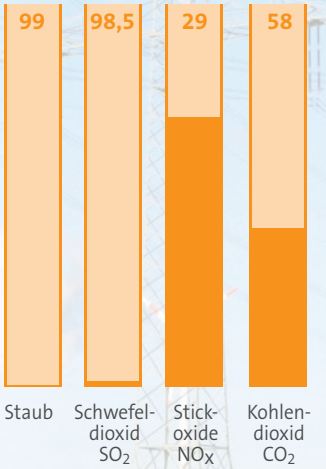
* natürlich vorkommende Energieträger wie z. B. Erdgas, Rohöl, Kohle, Holz ohne Verluste aus nachgelagerten Umwandlungs- und Transportprozessen.

Aufgrund der hohen Wirkungsgrade und damit erreichten Primärenergieeinsparungen leisten Blockheizkraftwerke einen wertvollen Beitrag bei der sparsamen Verwendung der nur begrenzt verfügbaren Brennstoffe auf dem langen Weg zu einer neuen Energieversorgung mit überwiegend erneuerbaren Energien. Aufgrund der Emissionsentlastungen sind insbesondere Erdgas-BHKW-Anlagen gleichzeitig ein wirkungsvolles Instrument zur Erreichung der Klimaschutzziele.

Emissionsentlastungen

Die durch Kraft-Wärme-Kopplung in BHKW-Anlagen erreichten Primärenergieeinsparungen sind gleichzeitig mit einer Verringerung von CO_2- und Schadstoffemissionen verbunden. Beim Einsatz von Erdgas in BHKW-Anlagen wird eine besonders große Emissionsentlastung gegenüber der konventionellen Energieversorgung erzielt:

- Erdgas verbrennt staubfrei und nahezu ohne Bildung von Schwefeldioxid
- die Stickoxidbildung kann besonders effektiv reduziert werden
- außerdem wird eine Entlastung von fast 60 % bei den CO_2-Emissionen durch das Erdgas-BHKW erreicht



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

Anpassung an die Einsatzbedingungen

Wärme- oder stromgeführt

BHKW-Anlagen werden im Allgemeinen für lange Laufzeiten mit Volllast konzipiert, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. Daher ist eine Anpassung an den Strom- und Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher erforderlich. Da das BHKW Strom und Wärme stets als Koppelprodukt in einem festen Verhältnis zueinander liefert, muss der Strom- oder der Wärmebedarf der Verbraucher als Führungsgröße für die Auslegung und den Betrieb des BHKW ausgewählt werden. Der erzeugte Strom wird in der Regel von den angeschlossenen Verbrauchern zunächst selbst genutzt und kann bei nachlassendem Strombedarf in das öffentliche Netz eingespeist werden. Die in einem BHKW erzeugte Wärme kann jedoch bei zurückgehendem Wärmebedarf der angeschlossenen Verbraucher nicht oder nur in begrenztem Umfang, z. B. in einem Wärmespeicher, zwischengespeichert werden.

Daher wird in den meisten Fällen der Wärmebedarf der Verbraucher als Führungsgröße für den Betrieb eines BHKW gewählt. Bei dieser **wärmegeführten Betriebsweise** bestimmt die Wärmenachfrage die Laststufe des BHKW bzw. den Einschalt- und Ausschaltzeitpunkt. Ein häufiger Anwendungsfall ist der wärmegeführte BHKW-Betrieb bei der Heizwärmeversorgung von Gebäuden.

Die **stromgeführte Betriebsweise** von BHKW-Anlagen kommt seltener zur Anwendung. Ein Beispiel sind BHKW-Anlagen, die in Fernwärmesysteme von Energieversorgungsunternehmen eingebunden werden. Hierbei kann das BHKW genutzt werden, um beispielsweise den Zukauf von teuren Stromlastspitzen vom Vorlieferanten des EVU durch Hochfahren des BHKW zu vermeiden. Die erzeugte Wärme kann in diesen Fällen in das Fernwärmenetz eingespeist werden, das als Wärmepuffer dient. Bei dieser Betriebsweise wird im Allgemeinen keine große Auslastung der BHKW-Anlage erreicht und der wirtschaftliche Vorteil des BHKW-Einsatzes ergibt sich ausschließlich durch Optimierung des Bezugsprofils beim Stromeinkauf oder durch Reaktion auf Schwankungen des Börsenpreises für Strom.

Kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise

Unter bestimmten Randbedingungen kann auch eine Kombination aus wärmegeführter und stromgeführter Betriebsweise in Betracht kommen. Ein Anwendungsbeispiel hierfür können Krankenhäuser sein. Das BHKW wird in einem solchen Fall zunächst wie bei der Wärmeführung für die Deckung der Wärmegrundlast konzipiert. Krankenhäuser haben im Allgemeinen einen regelmäßig wiederkehrenden Verlauf des täglichen Strombedarfs mit einer durchgehenden Grundlast und einem deutlich höheren Niveau während des täglichen Krankenhausbetriebs. Um in diesen Zeiten mit hohem Strombedarf Eigenstrom erzeugen und nutzen zu können, kann ein zusätzliches BHKW-Modul zum Einsatz kommen, das nun stromgeführt dem Tageslastgang folgend betrieben wird. Die von dem Zusatzmodul erzeugte Wärme muss bei unzureichender Wärmeanforderung für einige Stunden in einem Wärmespeicher zwischengespeichert werden, der bei einer späteren Zunahme des Wärmebedarfs wieder entladen werden kann. Diese kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise kann erfahrungsgemäß dann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn beispielsweise die Strombezugskosten für den hohen Tagesbedarf deutlich höher sind als für den ununterbrochenen Grundlastbedarf. Ähnliche Verhältnisse können auch in verschiedenen Bereichen des Gewerbes und der Industrie vorliegen.

Betriebsweise von BHKW-Anlagen

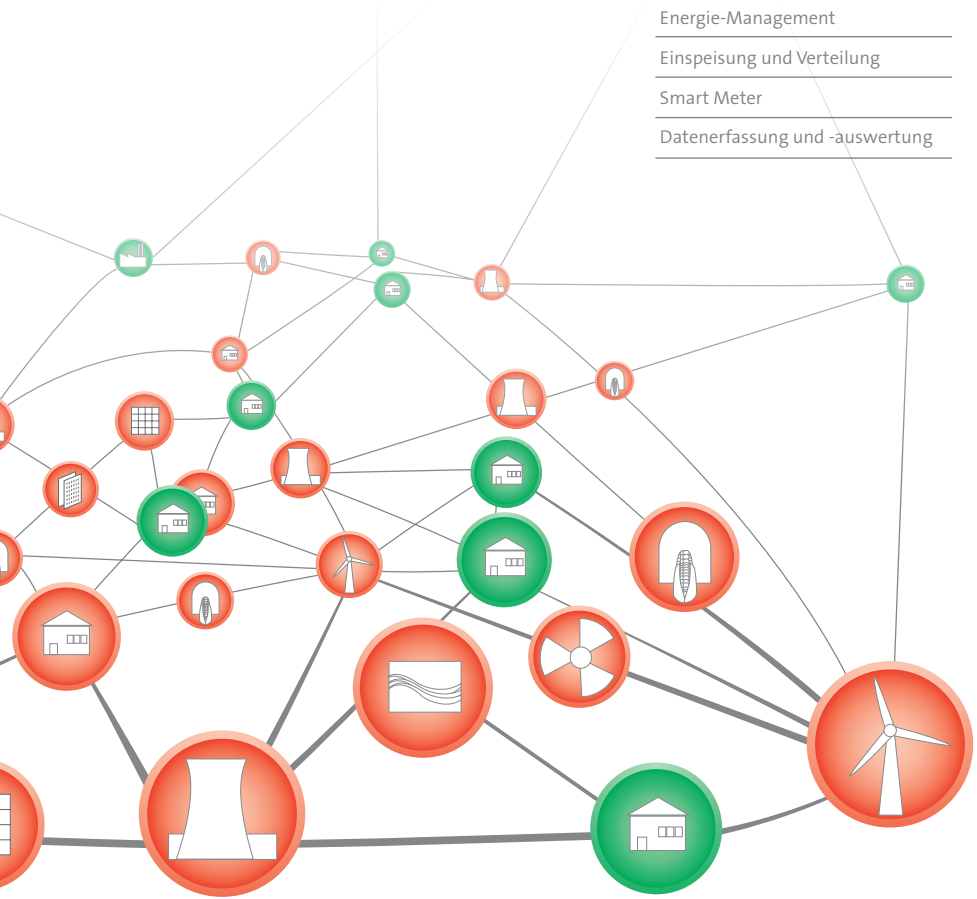
	Wärmegeführt	Stromgeführt	Kombiniert
Strom-verwendung	ohne Einschränkung (Eigennutzung und/ oder Netzeinspeisung)	nach Bedarf der Verbraucher, nach wirtschaftlicher Erwä-gung	nach Bedarf der Verbraucher, nach wirtschaftlicher Erwägung
Wärme-verwendung	nach Bedarf der Verbraucher	ohne Einschränkung ggf. Zwischenspeicherung	nach Bedarf der Verbraucher ggf. Zwischenspeicherung ggf. stromseitige Einschränkungen
Anwendungs-beispiele	Energieversorgung von Gebäuden	Einbindung in Fernwärmesysteme	Energieversorgung von Krankenhäusern

Virtuelle Kraftwerke

In Zukunft kann die kombiniert wärme- und stromgeführte Betriebsweise von vielen zu einem sogenannten virtuellen Kraftwerk zusammengeschalteten dezentralen BHKW-Anlagen von großer Bedeutung sein.

Die bei einzelnen Verbrauchern installierten und hier wärmegeführten BHKW-Anlagen werden von einer übergeordneten zentralen Stelle aus stromorientiert überwacht und gesteuert. Je nach Auslastung des öffentlichen Stromnetzes können die an das Netz angeschlossenen Anlagen von dieser zentralen Stelle aus zu- oder abgeschaltet werden. Auch hierbei sind für die kurzfristige Zwischenspeicherung von Wärme entsprechende dezentrale Wärmespeicher erforderlich.

Von Bedeutung wird diese Betriebsweise aufgrund der zunehmenden Stromeinspeisung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen, die nur begrenzt, d. h. bei entsprechenden Wind- und Strahlungsverhältnissen, verfügbar sind. Die zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschalteten dezentralen BHKW-Anlagen können in Zukunft in wind- und strahlungsarmen Phasen bei entsprechender Stromnachfrage zugeschaltet werden und auf diese Weise die begrenzte Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien ausgleichen. BHKW können aufgrund ihrer Flexibilität ideal zur Bereitstellung von Regelenergie eingesetzt werden. Der Einsatz von weniger flexiblen und mit größeren Verlusten und höheren Emissionen arbeitenden Großkraftwerken kann somit reduziert werden.



Empfänger

- Private Haushalte
- Gewerbe und Industrie

Produzenten und Speicher

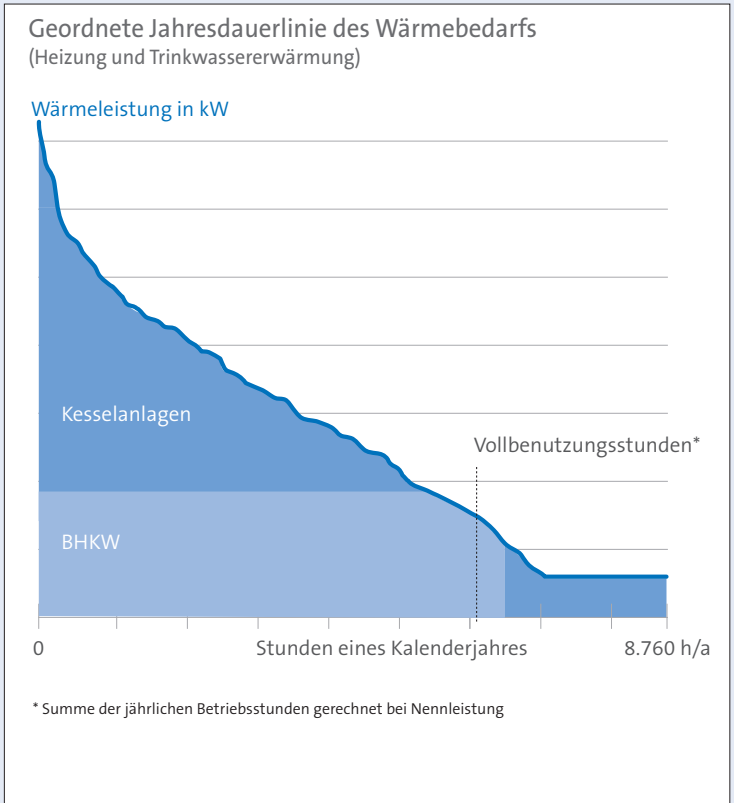
- Windparks (On- und Off-Shore)
- Solar- und Photovoltaikanlagen
- Wasserkraftwerke
- Biomasse/Biogas-/Bioerdgas-Anlagen (inkl. BHKW)
- Strom erzeugende Heizungen in Privathaushalten
- Brennstoffzellen
- Notstromaggregate aus der Industrie (große Rechenzentren, Krankenhäuser, städtische Gebäude wie Kläranlagen, etc.)
- KWK-Anlagen in Gewerbe und Industrie
- Atomkraftwerke

Die richtige Leistungsgröße

Der Betreiber einer BHKW-Anlage beabsichtigt, durch die Eigenerzeugung von Strom den Strombezug von einem Energieversorgungsunternehmen (EVU) zu verringern oder zu vermeiden und dadurch, sowie durch die gleichzeitige Nutzung der im BHKW erzeugten Wärme, einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen. Die mit der Errichtung eines BHKW verbundenen Investitionen sollen sich innerhalb eines erwarteten, möglichst kurzen, Zeitraumes durch Einsparungen amortisieren. Um einen wirtschaftlichen BHKW-Betrieb zu gewährleisten, ist daher eine sorgfältige und genaue Planung und Auslegung der Anlage unerlässlich. Eine wesentliche Zielsetzung ist es hierbei im Allgemeinen, eine hohe Anlagenauslastung, d.h. lange unterbrechungsfreie Laufzeiten mit hoher Laststufe unter den jeweiligen Randbedingungen 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 bei jedem Anwendungsfall erforderlich, um die Wärme- und Stromerzeugung in einem BHKW an die jeweiligen Bedarfswerte anzupassen.

Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs

Ein häufiger Anwendungsfall ist die Einbindung einer wärmegeführten BHKW-Anlage in die Heizwärmeversorgung von Gebäuden. Charakteristisch für den Verlauf des außentemperaturabhängigen Heizwärmebedarfs sind hohe Leistungswerte an nur wenigen kalten Tagen eines Jahres und erheblich kleinere Leistungswerte während der meisten Stunden eines Jahres. Eine übliche Darstellung dieses Verlaufs der Heizwärme ist die sogenannte geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs.



Um lange Laufzeiten des BHKW zu erzielen, darf dieses nun nicht entsprechend der maximalen Heizwärmeleistung dimensioniert werden, sondern es wird z. B. nur ein Anteil von etwa 20 % als Wärmenennleistung für das BHKW zugrunde gelegt. Bei dieser Auslegung können dann Laufzeiten mit Nennleistung von 5.000 h im Jahr oder mehr erreicht und dabei unter Umständen 50 % der erforderlichen Heizwärmemenge im Jahr bereitgestellt werden.*

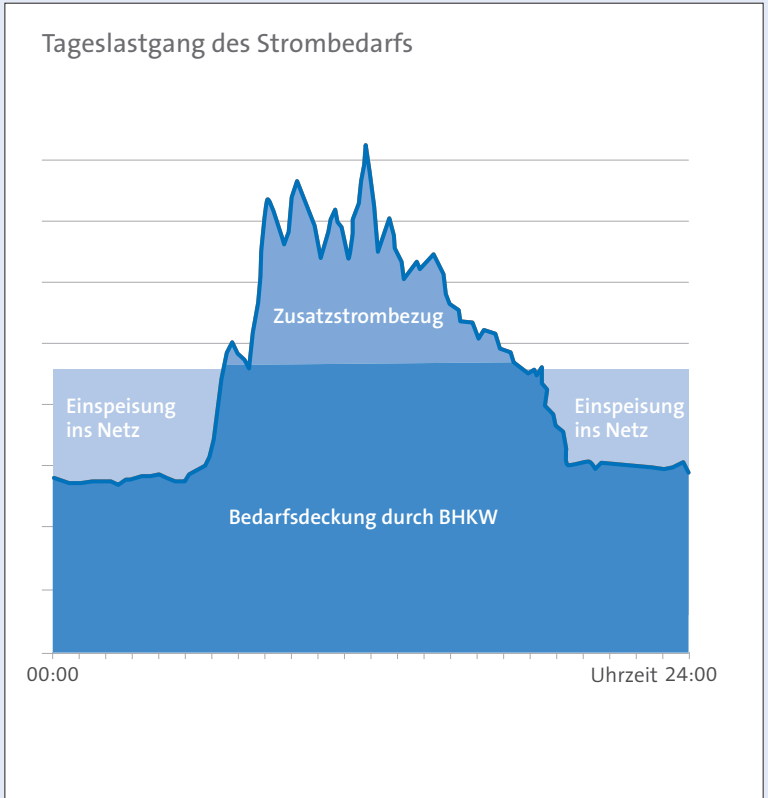
Zur Deckung des verbleibenden Wärmebedarfs werden in der Regel Heizkesselanlagen eingesetzt, die auch bei einem Ausfall des BHKW die Gesamtwärmeleistung bereitstellen können. Längere Laufzeiten werden erreicht, wenn im Zusammenhang mit der Heizwärmeversorgung auch Wärme zur Trinkwassererwärmung bereitzustellen ist.

* Allgemeine Orientierungswerte, für jeden Einzelfall ist die richtige BHKW-Größe durch individuelle Untersuchungen der wärmeseitigen Randbedingungen zu ermitteln.

Lastgang des Strombedarfs

Wenn der in einem BHKW erzeugte Strom ausschließlich in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden soll, wie teilweise bei kommunalen Betreibern der Fall, dann ist die Auslegung entsprechend den wärmeseitigen Randbedingungen ausreichend.

In den meisten Fällen ist jedoch zu überprüfen, ob mit der gewählten BHKW-Größe ein hinreichend großer Anteil des erzeugten Stromes für die Deckung des Eigenbedarfes genutzt werden kann (eine Verringerung von Strombezugskosten ist vorteilhafter als die Vergütung von Einspeisestrom).



Insbesondere bei kombiniert wärme- und stromgeführten Anlagen wie z. B. in Krankenhäusern ist die Untersuchung des Strombedarfs mit Hilfe von Lastganglinien im Rahmen der Planung und Auslegung des BHKW von Bedeutung. Im Fall der Krankenhäuser können die sich wiederholenden und damit repräsentativen Tageslastganglinien des Strombedarfs zur Ermittlung der Strombedarfsdeckung, der Höhe der Stromeinspeisung und des noch verbleibenden Strombezugs zugrunde gelegt werden (eine detaillierte Darstellung enthält die ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern“).

Relevante Jahreskosten

Wesentlicher Bestandteil der BHKW-Planung ist die Wirtschaftlichkeitsanalyse, nachdem die Leistungsgröße unter den wärme- und stromseitigen Randbedingungen gewählt wurde. Hierzu werden alle mit der Installation und dem Betrieb der Anlage verbundenen jährlichen Kosten und erzielbaren Vergütungen ermittelt. Als übersichtlich erweist sich eine Darstellung, bei der zum Vergleich ein Referenzfall ohne BHKW gegenübergestellt wird. Dieser Referenzfall ist in der Regel die Wärmeerzeugung in Kesselanlagen und der Strombezug von einem EVU zur vollständigen Deckung des Strombedarfs. Für das BHKW und den Referenzfall werden die resultierenden jährlichen Gesamtkosten ermittelt und in Vergleich gebracht. Die Differenz ergibt die durch das BHKW erzielbaren jährlichen Einsparungen.

Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen folgenden Kostenarten:

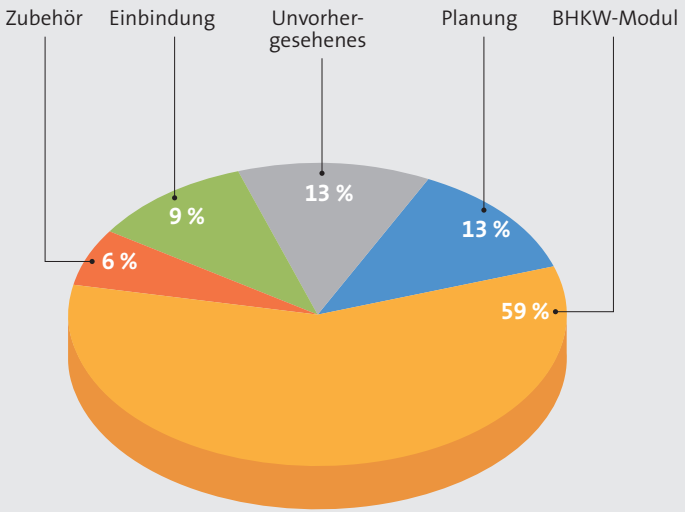
- kapitalgebunden
- verbrauchsgebunden
- betriebsgebunden

Kapitalgebundene Kosten

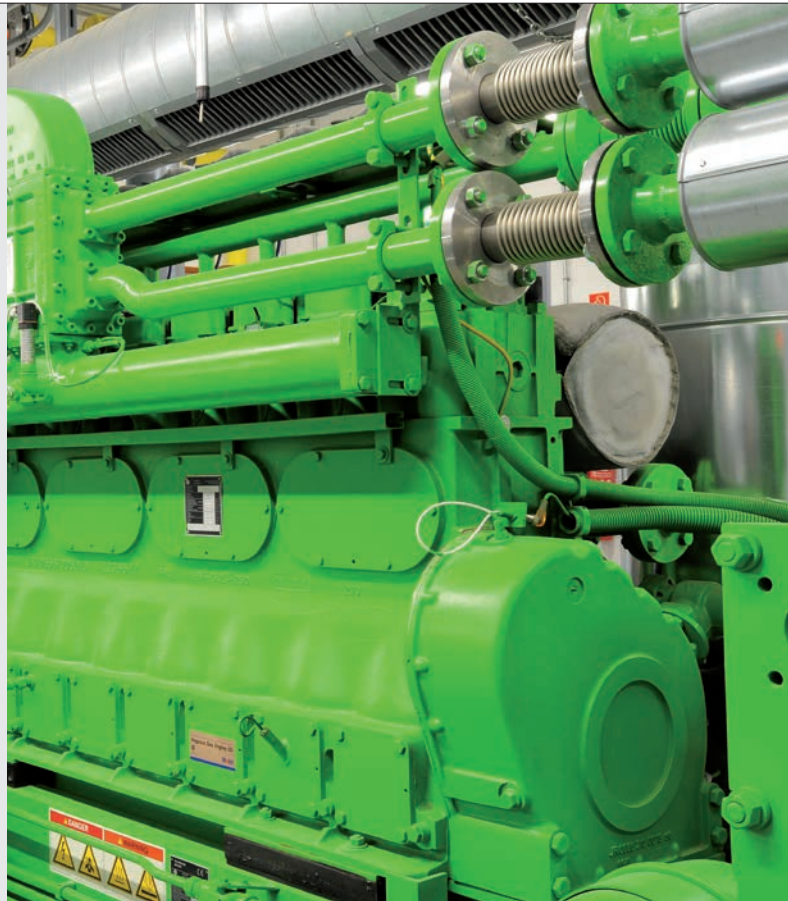
Sie resultieren aus den erforderlichen Investitionen, die im wesentlichen auf das eigentliche BHKW-Modul, auf Zubehör wie Regelungs- und Steuerungseinrichtungen, auf die bauliche Einbindung und den Anschluss vor Ort sowie auf Planungskosten und eine Pauschale für Unvorhergesehenes entfallen. Aus den Investitionen werden die jährlichen kapitalgebundenen Kosten annuitätisch unter Zugrundelegung eines marktüblichen Zinssatzes und eines Finanzierungszeitraumes, üblich sind 10 oder 15 Jahre, ermittelt.

Richtwerte für die spezifischen, d. h. auf die elektrische Leistung bezogenen, Investitionen von Erdgas-BHKW variieren zwischen 4.000 € / kW_{el} bei kleinen Anlagen (ca. 10 kW_{el}) und 400 € / kW_{el} bei großen Anlagen (ca. 2.000 kW_{el}), siehe auch ASUE-Broschüre „BHKW-Kenndaten“.

Aufteilung der für ein BHKW relevanten Investitionen



Praxisbeispiel Krankenhaus, insgesamt 320 T €, BHKW 225 kW_{el} €



Verbrauchsgebundene Kosten

Sie werden durch den Brennstoffeinsatz verursacht, der im Rahmen der Planung und Auslegung aus der Laufzeit und der Leistung der BHKW-Anlage (ggf. inklusive Spitzenlastkessel) ermittelt. Unter Zugrundelegung eines maßgeblichen Brennstoffpreises resultieren die Jahresbrennstoffkosten als verbrauchsgebundene Kosten.

Betriebsgebundene Kosten

Sie entstehen durch Wartung und Instandhaltung, Personalaufwand für Bedienung und Beaufsichtigung sowie Verwaltung und sonstigen Aufwand. Die BHKW-Anbieter übernehmen beispielsweise im Rahmen von Vollwartungsverträgen alle erforderlichen Leistungen vom Ölwechsel bis hin zur Generalüberholung des Motors. Im Allgemeinen werden diese Leistungen auf der Grundlage spezifischer, d. h. auf die erzeugte Strommenge bezogener, Kostensätze verrechnet. Die Höhe der Kostensätze sind abhängig von der elektrischen Leistung der BHKW-Anlage und variieren von einigen Cent je kWh_{el} bei kleinen Anlagen bis unter 1 Cent je kWh_{el} bei großen Anlagen. Für Personalaufwand und sonstigen Aufwand werden üblicherweise pauschale Kostenansätze zugrunde gelegt, die als Prozentsatz der Investitionen ermittelt werden (z. B. 3 % für Personalaufwand und 1,5 % für Verwaltung).

Veränderte Strombezugskosten

Außer den laufenden Kosten der BHKW-Anlage müssen noch die Veränderungen der Strombezugskosten ermittelt werden. In vielen Fällen wird der Strombedarf nicht vollständig durch das BHKW gedeckt sondern es bleibt ein Restbedarf an Strom, der von einem Anbieter zu beziehen ist, unter Umständen zu ungünstigeren Konditionen als bei Vollstrombezug. Zusätzliche Kosten können ggf. für die Vorhaltung von Reservestrom entstehen, der bei Betriebsunterbrechungen der BHKW-Anlage die Stromeigenerzeugung ersetzt.

Steuer- und Stromvergütung

Von den Strombezugskosten können kostenverringernde Steuer- und Stromvergütungen in Abzug gebracht werden. Relevant sind unter vorgegebenen Randbedingungen:

- Rückerstattung der Energiesteuer nach dem Energiesteuerrecht für den in der KWK-Anlage eingesetzten Brennstoff
- Befreiung von der Stromsteuer auf den erzeugten KWK-Strom
- Zuschlagszahlungen nach dem KWK-Gesetz für den in KWK-Anlagen erzeugten Strom
- Einspeisevergütung für den in das öffentliche Netz eingespeisten BHKW-Strom sowie Vergütung vermiedener Netznutzungsentgelte entsprechend den Regelungen des KWK-Gesetzes
- ggf. weitere Vorteile durch EEG-Förderung oder Befreiung von der EEG-Umlage

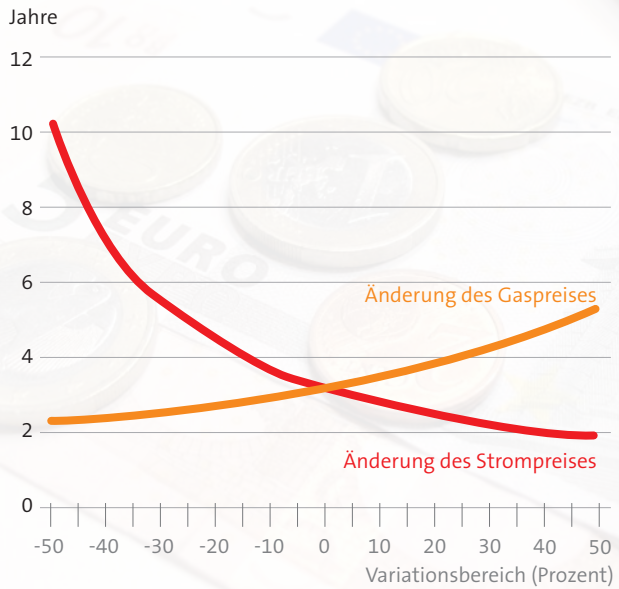
In den jeweiligen Gesetzen sind die Randbedingungen und Voraussetzungen für die Gewährung und die Höhe von Erstattungen und Vergütungen im Einzelnen festgelegt.

Amortisationsrechnung

Wann sich ein BHKW bezahlt gemacht hat, lässt sich durch eine einfache Amortisationsrechnung ermitteln. Hierzu werden die reinen Betriebskosteneinsparungen, das sind die jährlichen Einsparungen ohne Berücksichtigung des Kapitaldienstes, ins Verhältnis zu den Investitionen gesetzt. Bei guter Planung und günstigen Randbedingungen sind Amortisationszeiten von weniger als 5 Jahren realisierbar.

Im Allgemeinen wird zur Absicherung einer Investitionsentscheidung noch überprüft, wie sich Änderungen der zugrunde liegenden Randbedingungen, insbesondere der Gas- und Strompreise, auf die Amortisationszeit auswirken. Preissteigerungen beim Gasbezug verlängern die Amortisationszeit, Steigerungen des Strompreises verringern diese. Auch bei insgesamt steigenden Energiekosten werden daher BHKW-Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können.

Amortisationszeit über Änderungen des Gas- und Strompreises Praxisbeispiel Krankenhaus



Eine erste grobe Abschätzung der richtigen Leistungsgröße und der Wirtschaftlichkeit einer BHKW-Anlage ermöglicht das ASUE-Berechnungstool „BHKW-Checkliste“. Hier können für den BHKW-Einsatz relevante Eckdaten eines Anwendungsfalles eingegeben werden, auf deren Grundlage die technischen und wirtschaftlichen Daten einer in Betracht kommenden BHKW-Anlage ausgewiesen werden. Die Ergebnisse des Berechnungstools dienen als Orientierungshilfe vor dem Beginn detaillierter Planungen.

Contracting

Unter Umständen werden auch wirtschaftlich attraktive BHKW-Projekte nicht realisiert, beispielsweise weil Investitionen an anderen Stellen Vorrang haben oder Zeit und Personal für die Beschäftigung mit dem Projekt nicht verfügbar sind. In solchen Fällen kann ein Betreibermodell wie z. B. das Contracting in Betracht kommen. Hierbei übernimmt ein externer Dritter, ein sogenannter Contractor, die Investition und auch die Betriebsführung einer BHKW-Anlage mit allen damit verbundenen Aufgaben. Der Contractor, der über alle erforderlichen Ressourcen sowie Kenntnisse und Erfahrungen verfügt, erhält für seine Dienstleistungen eine Vergütung z. B. in Form eines Entgeltes für gelieferte Wärme- und Strommengen.

Ziel ist es, ökologisch sinnvolle Projekte zu realisieren und für beide Projektbeteiligten einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen (siehe auch ASUE-Broschüre „Contracting für Krankenhäuser“).

Im Folgenden werden die strom- und wärmeseitigen Randbedingungen verschiedener Einsatzgebiete für BHKW-Anlagen erläutert:

- Wohn- und Geschäftshäuser
- Krankenhäuser
- Hallenbäder und beheizte Freibäder
- Gewerbe- und Industriebetriebe
- Weitere Anwendungsbeispiele (Erdgasentspannungsanlagen, EDV-Zentren, Kläranlagen)

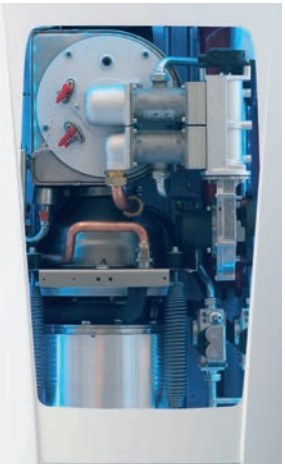
Ausgeführte Referenzprojekte werden in der ASUE-Broschüre „BHKW-Grundlagen“ vorgestellt.

Wohn- und Geschäftshäuser

Ein bedeutendes Einsatzgebiet für BHKW-Anlagen ist der große Bestand der zu beheizenden Gebäude. Ein BHKW wird hierbei stets zur Abdeckung der Heizwärmegrundlast ausgelegt, damit ausreichend lange Laufzeiten als Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb erreicht werden. Vorteilhaft für eine hohe BHKW-Auslastung sind zentrale Trinkwarmwassersysteme.

Die Auslastung mindernd sind eingeschränkte Nutzungszeiten und damit verringerte Heizzeiten des Gebäudes wie im Fall von Schulgebäuden oder Verwaltungsgebäuden. Bei diesen Beispielen wird häufig der größte Teil des erzeugten Stromes in das öffentliche Netz eingespeist, da hier der Eigenstrombedarf für Beleuchtung, PC, Haushaltsgeräte und ähnliche Stromverbraucher eher gering ist. Die Wirtschaftlichkeit eines BHKW wird dann maßgeblich durch die erzielbare Einspeisevergütung bestimmt.

Mittlerweile sind auch für den großen Bestand an Einfamilienhäusern BHKW-Anlagen mit entsprechender kleiner Leistung serienreif verfügbar. Aktuell befinden sich von verschiedenen Herstellern Kleinst-BHKW auf dem Markt, die auf den Strom- und Wärmebedarf von privaten Haushalten zugeschnitten sind. Dabei werden auch Alternativen zum Verbrennungsmotor als Antriebsaggregat verwendet, wie z. B. die Brennstoffzelle oder der Stirling-Motor (siehe auch ASUE-Broschüre „Die Strom erzeugende Heizung“).



Krankenhäuser

Besonders gute Voraussetzungen für den Einsatz von BHKW-Anlagen bieten Krankenhäuser mit Ihrer Wärme- und Strombedarfsstruktur. Neben dem Heizwärmebedarf ist ein hoher Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung zu decken, darüber hinaus oft auch Wärmebedarf für Funktionsbereiche wie z. B. Bäderabteilungen. Stromverbraucher wie Lüftungsanlagen, Pumpen der Heizung und Wasserversorgung und Teile der Beleuchtung verursachen ganztägig einen weitgehend konstanten Grundlastbedarf, der tagsüber durch den Strombedarf verschiedener Funktionsbereiche wie OP, Küche, Wäscherei und der Aufzüge überlagert wird. Erfahrungsgemäß sind unter diesen Voraussetzungen BHKW-Anlagen mit attraktiven wirtschaftlichen Ergebnissen darstellbar. Ein Fallbeispiel wird ausführlich in der ASUE-Broschüre „BHKW in Krankenhäusern“ behandelt.

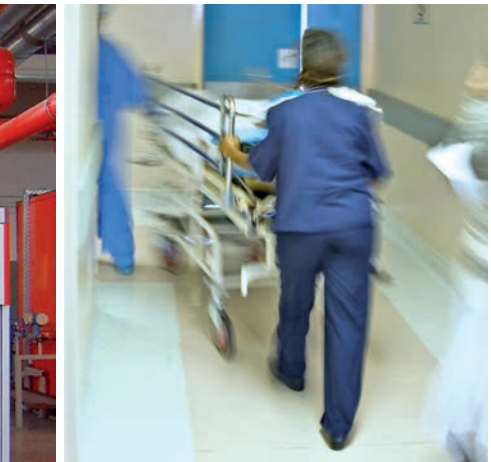
Im Allgemeinen wird in Krankenhäusern auch Kälte für die Klimatisierung verschiedener Bereiche benötigt, die heute noch überwiegend in Kompressionskälteanlagen erzeugt wird. Eine interessante

Hallenbäder und beheizte Freibäder

Alternative ist die **Kälteerzeugung in Absorptionskälteanlagen**, die in Kombination mit BHKW-Anlagen arbeiten. Hierbei wird in den Sommermonaten mit hohem Kältebedarf und geringem Heizwärmebedarf die im BHKW erzeugte Wärme für den Antrieb von Absorptionskälteanlagen verwendet und auf diese Weise die Auslastung des BHKW erhöht.

Gute Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb von BHKW-Anlagen in Hallenbädern sind der ganzjährige Bedarf an Wärme für die Beckenwassererwärmung und die Duschbereiche sowie ein weitgehend konstanter Strombedarf der Umwälzpumpen und Lüftungsanlagen.

In beheizten Freibädern kommt der Einsatz mobiler BHKW-Anlagen in Betracht, die außerhalb der Freibadsaison an anderen Aufstellungsorten betrieben werden können und auf diese Weise eine hohe Auslastung erreichen.



Gewerbe- und Industriebetriebe

In Gewerbe- und Industriebetrieben sind die Verwendungsmöglichkeiten für Strom und Wärme aus BHKW-Anlagen auch im Bereich der Produktion interessant. Maßgebend für das Einsatzgebiet ist das Temperaturniveau der benötigten Wärme.

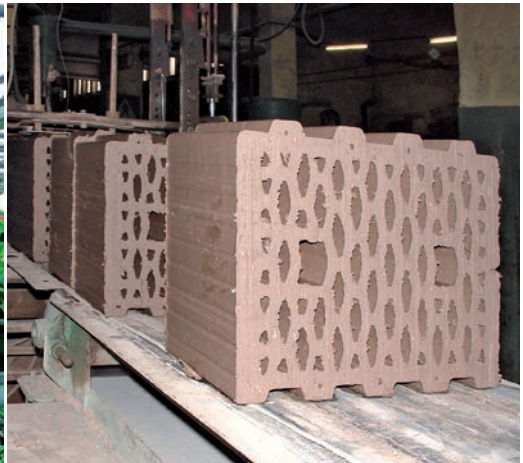
Kleine und mittlere BHKW-Anlagen, die in der Regel Warmwasser bei etwa 90 °C liefern, eignen sich beispielsweise für den Einsatz in verschiedenen Bereichen der Nahrungsmittelindustrie wie Fleischverarbeitungsbetrieben, Molkereien oder Brauereien, die über einen hohen Warmwasserbedarf verfügen. Bei vorhandenem Kältebedarf ist hier auch die Kombination mit Absorptionskälteanlagen relevant. Abnehmer für den BHKW-Strom sind in diesen Fällen Verarbeitungsmaschinen, Abfüll- und Transportanlagen.

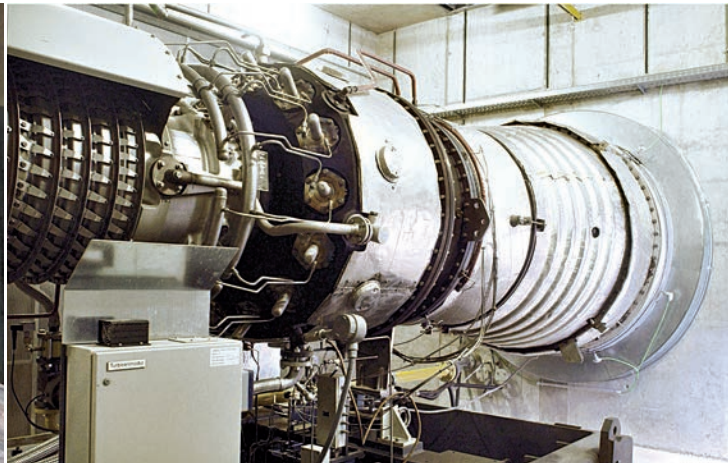
Für Produktionsprozesse, die Wärme auf höherem Temperaturniveau, z. B. in Form von Dampf, benötigen, eignen sich **BHKW-Anlagen mit Gasturbinen** als Antriebsaggregat, die neben dem Strom ausschließlich Abgaswärme bei Temperaturen um 500 °C für die Dampferzeugung in Abhitzekesseln liefern. Papierfabriken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

Voraussetzungen für den Einsatz von Gasturbinen-BHKW, die hier nahezu ganzjährig ununterbrochen Strom für den Antrieb und Dampf für die Beheizung der Papiermaschinen liefern.

Die Abgaswärme aus BHKW-Anlagen mit Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen kann auch direkt, d.h. ohne Übertragung auf einen Sekundärkreislauf, für betriebliche Prozesse genutzt werden. Ein Beispiel sind Ziegeleien in der Baustoffindustrie, die Abgase aus BHKW-Anlagen unmittelbar in Trocknungskammern zur Ziegeltrocknung einsetzen können; der erzeugte Strom findet hier für Maschinenantriebe bei Formgebung und Transport Verwendung (siehe auch ASUE-Broschüre „Direkte Trocknung mit Abgasen aus KWK-Anlagen).

Ein anderes Anwendungsbeispiel ist die sogenannte CO_2-Düngung in Gärtnereien, die das im BHKW-Abgas enthaltene CO_2 für eine Intensivierung des Pflanzenwuchses nutzen; der BHKW-Strom wird hier für die Assimilationsbeleuchtung verwendet.





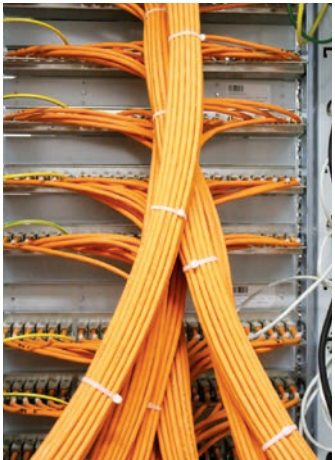
Weitere Anwendungsbeispiele

Aus der Vielfalt der BHKW-Anwendungsfälle seien in Stichworten noch die folgenden interessanten Beispiele erwähnt.

Erdgasentspannungsanlagen von Gasversorgungsunternehmen benötigen Wärme zur Beheizung des Erdgases, das von hohem Transportdruck (etwa 70 bar) auf den Versorgungsdruck (etwa 5 bar) gedrosselt wird und sich dabei abkühlt. Durch die Beheizung wird eine Unterkühlung und Vereisung verhindert.

EDV-Zentren verfügen über einen hohen Stromgrundlastbedarf der Rechenanlagen sowie Kältebedarf der Klimaanlagen und damit über gute Voraussetzungen für den kombinierten Einsatz einer BHKW- und Absorptionskälteanlage.

Kläranlagen erfordern Wärme zur Beheizung der Foultürme, in denen durch biologische Zersetzung des Klärschlamms Klärgas erzeugt wird. Dieses Klärgas kann in einem BHKW verwendet werden, das die Heizwärme für die Foultürme zur Verfügung stellt. Der BHKW-Strom wird hier für die mechanischen Antriebe von Rührwerken, Transport- und Zerkleinerungsanlagen genutzt.



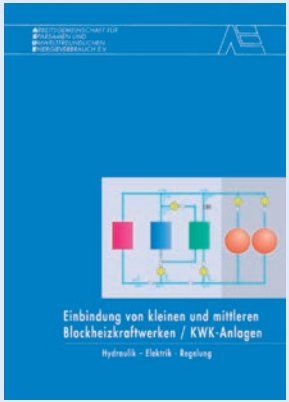
Vertiefende Informationen

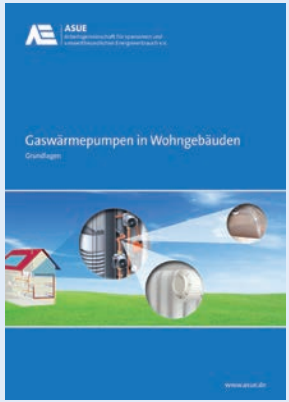
Für vertiefende Informationen können die ASUE-Broschüren

- BHKW-Grundlagen
- BHKW-Kenndaten
- Blockheizkraftwerke in Krankenhäusern
- Einbindung von kleinen und mittleren Blockheizkraftwerken / KWK-Anlagen
- Die Strom erzeugende Heizung

bestellt werden, die auch als Download-Versionen (pdf-Dateien) unter **www.asue.de** zur Verfügung stehen.

Neben weiteren Informationen zum Thema, können hier auch für Berechnungen die BHKW-Tools „BHKWCheckliste“ und „Berechnung der Wirtschaftlichkeit von BHKWs in Krankenhäusern“ abgerufen werden.





Herausgeber
ASUE Arbeitsgemeinschaft für
sparsamen und umweltfreundlichen
Energieverbrauch e.V.
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin
Telefon 0 30 / 22 19 1349-0
info@asue.de · www.asue.de

Bearbeitung
Dr. Wolfgang Nowak, Lindlar
Dr. Jochen Arthkamp, Essen
sowie die Mitarbeiter des ASUE-Arbeitskreises
„Brennstoffzellen/BHKW“

Grafik
Kristina Weddeling, Essen

Bezug
energiedruck
Verlag für sparsamen und
umweltfreundlichen Energieverbrauch
Girardetstraße 2-38, Eingang 4
45131 Essen
Telefon 02 01 / 799 89 204
Telefax 02 01 / 799 89 206
www.energiedruck.de
bestellung@energiedruck.de

BHKW-Fibel
Bestellnummer: 05 03 15
Schutzgebühr: 2,52 € / 3,00 €
(zzgl. / inkl. 7 % MwSt.)
Stand: März 2015

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

Überreicht durch: