

**Matthias Matt**

Vergleich von Betriebskonzepten für  
Kleinst-BHKWs am Beispiel eines Wohn-  
und Gewerbegebäudes

**Studienarbeit**

# BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei [www.GRIN.com](http://www.GRIN.com) hochladen  
und kostenlos publizieren



---

# **Vergleich von Betriebskonzepten für Kleinst-BHKWs am Beispiel eines Wohn- und Gewerbegebäudes**

## **STUDIENARBEIT**

von

Matthias Matt

erstellt am

**Fachgebiet Energie- und Rohstoffwirtschaft**

**Technische Universität Berlin**

Fakultät VIII

Juni 2003

---

---

## Abstract

Die vorliegende Arbeit untersucht die verschiedenen Betriebskonzepte eines Kleinst-BHKWs am Beispiel eines kleinen Mietshauses aus dem Jahre 1936 mit insgesamt fünf Wohn- und Gewerbeeinheiten und einer Nutzfläche von ca. 360 m<sup>2</sup>. Ausgangspunkt der Untersuchung war eine überwiegende Selbstversorgung der Mieter mit Wärme aus Gaseinzelöfen oder Gasetagenheizungen, welche von einer zentralen Wärmeversorgung abgelöst wurde. Die aufgrund fehlender Erfahrungswerte durchgeführte Wärmebedarfssimulation führte zu einem maximalen Wärmebedarf des Beispielobjektes von 37 kW<sub>th</sub>. Aufgrund der hohen Leistungsmodulierbarkeit wurde das Ecopower BHKW der Firma Valentin Umwelttechnik GmbH mit einer Leistung von 12,5 kW<sub>th</sub> und 4,7 kW<sub>el</sub> für den Einsatz im Beispielobjekt ausgewählt. Basierend auf dem Wärme- und Strombedarf des Objektes wurde das BHKW am Computer simuliert. Hierbei verwendet der Betreiber des BHKWs die im BHKW erzeugte Energie nicht selbst, sondern verkauft diese erlösbringend an die im Haus ansässigen Mietparteien.

Ausschlaggebend für einen wirtschaftlichen Betrieb des BHKWs war die Zielsetzung der Warmmietenneutralität. Hierdurch können die beim Mieter durch die Zentralisierung der Wärmeversorgung entstandenen Einsparungen abgezogen werden und vom Betreiber als Investitionskostendeckungsbeitrag verwendet werden. Die zentrale Heizungsanlage mit BHKW dient daher zunächst nicht zur Senkung der Energiekosten für den Mieter, sondern hat primär den Zweck einer umweltfreundlichen und energieeffizienten, zentralen Energieproduktion.

Grundsätzlich ergaben sich zwei verschiedene Betriebskonzepte: 1) der Hauseigentümer ist Eigentümer des BHKWs und betreibt dieses selbst, oder 2) der Hauseigentümer ist Eigentümer des BHKWs, vermietet das BHKW allerdings an einen externen Dritten, welcher das BHKW betreibt. Während in (1) ein Vermieter als Betreiber des BHKWs Einsparungen des Mieters nur über eine Mieterhöhung umlegen kann, zieht ein externer Betreiber in (2) die Einsparungen des Mieters über frei kalkulierbare Wärmepreise ab.

Besonders wirtschaftlich erwies sich unabhängig vom Betreiberkonzept eine hohe Leistungsmodulierung des BHKWs sowie ein hoher Eigenverwendungsgrad des erzeugten Stromes im Beispielobjekt bei gleichzeitiger Möglichkeit der Einspeisung von überschüssigem Strom in das öffentliche Netz. Konzepte mit ausschließlicher Einspeisung des erzeugten Stromes in das öffentliche Netz erwiesen sich nicht als wirtschaftlich.

---

---

# Inhalt

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Projektvorstellung .....</b>	<b>3</b>
2.1. Allgemeine Rahmenbedingungen .....	3
2.2. Geplante zentrale Heiz- und Warmwasserversorgung.....	4
2.2.1. Grundlegende Maßnahmen .....	4
2.2.3. Anlagenkonzept mit BHKW .....	4
<b>3. Simulation des Anlagenbetriebs .....</b>	<b>7</b>
3.1 Energieerzeugung.....	7
3.1.1. Modellbildung zur Errechnung des Wärme- und Strombedarfes.....	8
3.1.2. Wärme- und Strombedarf des Objektes .....	9
3.1.3. Laufzeiten und Energieproduktion des BHKWs .....	10
3.1.3.1. Leistungsmodulierung .....	13
3.1.3.2. Einfluss des Pufferspeichers .....	13
3.2. Energieabnahmekonzepte .....	16
3.2.1. Abnahme von Wärme.....	16
3.2.1.1. Vermieter als Eigentümer und Betreiber .....	17
3.2.1.2. Wärmeversorgung durch einen Dritten.....	21
3.2.2. Abnahme von Strom .....	24
3.2.2.1. Ausschließliche Stromeinspeisung in das öffentliche Netz .....	24
3.2.2.2. Einspeisung des nicht im Objekt verwendbaren Stromes.....	26
3.2.2.3. Ausschließliche Eigenverwendung .....	31
3.2.3. Kombinierte Wärme- und Stromabnahmekonzepte .....	32

---

<b>4. Ökonomische Gegenüberstellung der Konzepte .....</b>	<b>33</b>
4.1. Grundlagen.....	33
4.2. Kapitalbedarf der Investition .....	35
4.3. Periodisch anfallende Kosten und Erlöse .....	36
4.3.1. Kosten aus dem Betrieb des Kraftwerkes.....	36
4.3.1.1. Fixkosten.....	36
4.3.1.2. Variable Kosten.....	37
4.3.2. Kosten aus Organisation und Energieabnahme.....	37
4.3.3. Einnahmen aus der Energieabnahme .....	38
4.3.3.1. Einnahmen aus der Wärmeabgabe .....	39
4.3.3.2. Einnahmen aus Stromverkauf .....	39
4.3.4. Sonstige Einnahmen .....	40
4.4. Wirtschaftlichkeitsberechnung der einzelnen Alternativen .....	41
4.4.1. Vermieter als Betreiber .....	41
4.4.1.1. Alternativen.....	41
4.4.1.2. Kosten und Einnahmen .....	42
4.4.1.3. Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung .....	45
4.4.1.4. Berücksichtigung der Umsatzsteuer.....	47
4.4.1.5. Sensitivitätsanalyse .....	49
4.4.1.6. Zwischenfazit .....	49
4.4.2. Externer Betreiber .....	50
4.4.2.1. Alternativen.....	50
4.4.2.2. Kosten und Einnahmen .....	51
4.4.2.3. Berücksichtigung der Umsatzsteuer.....	53
4.4.2.4. Zwischenfazit .....	53
4.4.3. Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Konzepte .....	54
<b>5. Fazit.....</b>	<b>56</b>
<b>6. Verwendete Literatur .....</b>	<b>58</b>

<b>Anhang 1: Technische Daten Valentin Ecopower BHKW</b> .....	<b>A-1</b>
<b>Anhang 2: Wärmebedarfsberechnung</b> .....	<b>A-2</b>
A2.1 Wärmedurchgangskoeffizienten und Inhalte der Hüllflächen .....	A-2
A2.2 Interne Raumwärmegewinne, Warmwasserbedarf und Verbrauchsstruktur.....	A-4
A2.3 Ergebnisse .....	A-5
<b>Anhang 3: Strombedarfsberechnung</b> .....	<b>A-7</b>
<b>Anhang 4: Wirtschaftlichkeitsberechnung</b> .....	<b>A-9</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AVBFernwärmeV	Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme
BAFA	Bundesamt für Ausfuhrkontrolle
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BHKW	Blockheizkraftwerk
DIN	Deutsche Industrie Norm
EE	Exklusive Einspeisung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
HeizkostenV	Heizkostenverordnung
HKA	Heizkraftanlage
i.V.m	in Verbindung mit
JDL	Jahresdauerlinie
kWh	Kilowattstunde
kWh <sub>th</sub>	Kilowattstunde (thermisch)
kWh <sub>el</sub>	Kilowattstunde (elektrisch)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKModG	Gesetzes für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft- Wärme-Kopplung
MHG	Miethöhegesetz
OE	Ohne Einspeisung
PU	Puffer
SLK	Spitzenlastkessel
StromStG	Stromsteuergesetz
StromStV	Stromsteuerdurchführungsverordnung
Tab.	Tabelle
USt	Umsatzsteuer
UStG	Umsatzsteuergesetz
U/min	Umdrehungen pro Minute
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WG	Wärmegeführt

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Hydraulikschema der Heizanlage mit BHKW und Spitzenkessel	5
Abb. 2:	Steuerung der Heizanlage	11
Abb. 3:	Ergebnisse der BHKW-Simulation	12
Abb. 4a:	Absoluter Einfluss des Pufferspeichers	15
Abb. 4b:	Relativer Einfluss des Pufferspeichers	15
Abb. 6b:	Eigentümermodell-Wärmedirektservice	22
Abb. 6a:	Eigentümermodell-Standard	22
Abb. 5:	Arten der Wärmelieferung	22
Abb. 7a:	Elektrische Einbindung des BHKWs bei Volleinspeisung	25
Abb. 7b:	Elektrische Einbindung des BHKWs bei Teileinspeisung	26
Abb. 7c:	Elektrische Einbindung des BHKWs bei Doppelversorgung / ausschl. Eigenverwendung	30
Abb. 8:	Wärme- und Stromabnahmekonzepte im Beispielfall	32
Abb. 9:	Ermittlung der Brennstoffanteile der Produkte Wärme und Strom	38
Abb. 10:	Simulationsergebnisse der einzelnen Betriebskonzepte	42
Abb. A2-1a und A2-1b:	Modell zur Berechnung des Wärmebedarfes	A-2
Abb. A2-3:	Ergebnis der Wärmebedarfsberechnung: Jahresdauerlinien	A-6
Abb. A3-1b:	Strombedarfsprofil im Wochenverlauf	A-7
Abb. A3-1a:	Strombedarfsprofil im Jahresverlauf	A-7

Soweit nicht anders angegeben sind sämtliche Abbildungen Eigendarstellungen.

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Wohn- und Nutzflächen des Beispielobjektes	3
Tab. 2:	Ergebnisse der Simulation des Wärmebedarfes	10
Tab. 3:	Gesamtstrombedarf der Wohn- und Gewerbeeinheiten	10
Tab. 4:	Ergebnisse der BHKW-Simulation ohne Pufferspeicher	12
Tab. 5:	Ergebnisse der BHKW-Simulation mit Pufferspeicher	15
Tab. 6a:	Darstellung der untersuchten Alternativen im Vermieter-Betreiberkonzept	41
Tab. 6b:	Simulationsergebnisse der einzelnen Betriebskonzepte	42
Tab. 7:	Jährliche Kosten und Einnahmen des Betriebes	43
Tab. 8:	Wirtschaftlichkeit nach Annuitäten- und Kapitalwertmethode	45
Tab. 9:	Berücksichtigung der Umsatzsteuer in der Wirtschaftlichkeitsberechnung	48
Tab. 10:	Sensitivitätsanalyse	49
Tab. 12:	Berücksichtigung der Umsatzsteuer in der Wirtschaftlichkeitsberechnung des externen Betreibers	52
Tab. 11:	Jährliche Kosten und Einnahmen eines externen Betreibers	52
Tab. 13:	Vor- und Nachteile der Konzepte für Vermieter und Mieter	54
Tab. A-2-1:	Grundlagen der Wärmebedarfsberechnung I	A-3
Tab. A2-2:	Grundlagen der Wärmeberechnung II	A-4
Tab. A3-1:	Ergebnisse der Strombedarfsberechnung	A-8
Tab. A4-1:	Kosten und Einnahmenrechnung Vermieter	A-10
Tab. A4-1:	Kosten und Einnahmenrechnung Vermieter (Forts.)	A-11
Tab. A4-2:	Annuitäten der Investitionen	A-12
Tab. A-4-3:	Kosten- und Einnahmenrechnung externer Betreiber	A-13

Soweit nicht anders angegeben sind sämtliche Tabellen Eigendarstellungen.



## 1. Einleitung

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige, gekoppelte Wandlung und Nutzung von Strom und Wärme aus anderen Energieformen mit Hilfe eines Prozesses in einer Anlage. Hierzu wird zunächst mechanische Nutzenergie erzeugt, welche dann in der Regel unmittelbar in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Die dabei freigesetzte Wärme wird über Wärmetauscher abgeführt und steht so als Nutzwärme zur Verfügung (Schmitz und Koch 1996, S. 5; Klingebiel 2002, S. 12). Basiert die Erzeugung der mechanischen Energie auf einem Verbrennungsmotor, spricht man von einem Blockheizkraftwerk (BHKW) (Suttor und Müller 1999, S. 10).

Die KWK stellt aufgrund ihrer hohen Energienutzungsgrade ein wichtiges Instrumentarium zur Vermeidung von Kohlendioxid-Emissionen dar. Mittlerweile wird sie vom Gesetzgeber umfangreich durch verschiedene Gesetze unterstützt und gefördert. Im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Wärme und Strom können selbst kleine KWK-Anlagen Primärenergieeinsparungen von bis zu 30% erreichen (Meixner und Stein 2002b, S.7). Durch Verwendung der ansonsten bei der Stromerzeugung als Verlust auftretenden Wärme liegt der Wirkungsgrad eines BHKWs bei 80% - 90%.

Ein weiterer Energieeinspareffekt ergibt sich aus der dezentralen Energieproduktion. Können der erzeugte Strom und die erzeugte Wärme vor Ort verwendet werden, reduzieren sich die Übertragungsverluste um ein Vielfaches (Klingebiel 2002, S. 14).

Blockheizkraftwerke gewannen seit den achtziger Jahren an Bedeutung. Sie werden seitdem insbesondere in größeren Gebäudekomplexen oder in kleineren Nahwärmenetzen eingesetzt. Seit 1990 stieg die Anzahl der in der Bundesrepublik Deutschland installierten Anlagen rasant von ca. 1400 Anlagen auf 4200 Anlagen im Jahr 1997 und 4500 Anlagen im Jahr 1999 (Suttor und Müller 1999, S. 10; Meixner und Stein 2002b, S.8).

Durch die Entwicklung von kleinen BHKWs mit einer Leistung von unter 6 kWel und 12 kWth wurde auch der Einsatz der KWK in kleineren Objekten ermöglicht. Bei Mini-BHKWs handelt es sich um kleine und kompakte, anschlussfertige KWK-Anlagen. Sie werden in der Regel in Serie produziert und können ohne großen Aufwand in Betrieb genommen werden. In einer kompakten Einheit sind Motor, Generator und Wärmetauscher sowie die Systemsteuerung enthalten. Daher sind sie z.B. in Ein- oder Mehrfamilienhäusern, in Gewerbebetrieben oder in der Landwirtschaft einsetzbar. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrades und der hohen Standardisierung benötigen Mini-BHKWs zudem keinen höheren Bedienungsaufwand als eine reguläre Heizanlage mit Gastherme (Klingebiel 2002, S. 13).