

Harald Klausmann

Aufbau und Einsatz von anschlußfertigen BHKW-Kompaktmodulen bis 250 kW

**Anforderungen an Heizungsanlagen
für den Einbau eines BHKW**



VULKAN

**Aufbau und Einsatz
von anschlufertigen
BHKW-Kompaktmodulen
bis 250 kW**

Harald Klausmann

**Aufbau und Einsatz
von anschlußfertigen
BHKW-Kompaktmodulen
bis 250 kW**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über

<http://dnb.d-nb.de>

abrufbar.

ISBN 3-8027-2547-6

© 2000 Vulkan-Verlag GmbH

Ein Unternehmen der Oldenbourg-Gruppe

Hollestraße 1g, D-45127 Essen

Telefon: (02 01) 8 20 02-0, Internet: <http://www.oldenbourg.de>

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Lektorat: Petra Peter-Antonin

Herstellung: Volker Bromby

Umschlagkonzeption: Kraxenberger Kommunikationshaus, München

Druck:

Bindung:

Vorwort

Wer BHKW-Anlagen plant, sollte gleichzeitig Heizungsbauer, Elektrotechniker, Gas- und Wasser-Fachkraft, Schornsteinfeger, Maschinenbauer, KFZ-Schlosser und Versorgungstechniker sein.

Dann sollte er noch ein Bißchen was von der TA Luft und der TA Lärm verstehen, von Regelungstechnik, vom Baurecht und Mineralölsteuergesetz, und natürlich auch wissen, ab wann er für seine Anlage Ökosteuern abführen muß ...

Ich habe versucht, den Einstieg in das komplexe Thema „stromliefernde Heizungen“ oder „heizende Stromerzeuger“ von allen Seiten her zu betrachten. Ich wünsche dem Leser, daß er im vorliegenden Buch all das findet, was er sucht, und bitte um Nachsicht, wenn dem einen oder anderen die notwendige Darstellung von Grundlagen „langweilig“ erscheint.

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bei allen Herstellern, Unternehmen, Betrieben und Verbänden, die mich beim Schreiben dieses Buches unterstützt haben, und insbesondere bei Dirk, der mir im ökonomischen Teil kräftig mit Rat und Tat beigestanden hat, bei Bernd, der alle Rohr-Nennweiten kennt, bei Reinhard und Rigo, die furchtbar viele Fehlerchen beim Korrekturlesen erbeuteten und wichtige Anregungen beigesteuert haben, besonders aber bei meiner lieben Frau Karoline, die mir die nötige Zeit für die Arbeit geschenkt hat.

Ich hoffe, daß sich die BHKW-Technik trotz billigem Stromimport und dem ökonomisch völlig verzerrten Strommarkt durchsetzen wird. Wenn die Kosten für die Förderung der Atomenergie und die Beseitigung ihrer Folgen (Tschernobyl), die Kosten für Küstenschutzmaßnahmen gegen steigende Meeresspiegel und für die Aufräumarbeiten nach Sturmschäden in den Strompreis hineingerechnet würden, sähe die KWK-Landschaft anders aus!

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Aufbau und Eigenschaften von BHKW-Modulen	7
1.1 Das Modul als Baustein der BHKW-Anlage	8
1.1.1 Exkurs: Kraftstoffe	12
1.1.2 BHKW-Antriebsmotoren	19
1.1.3 Schmierölversorgung	38
1.1.4 Luftversorgung und Entlüftung	42
1.1.5 Brennstoffdosierung	46
1.1.6 Exkurs: Elektrische Energie und elektrische Maschinen	51
1.1.7 Generatorüberwachung und -kühlung	74
1.1.8 Wärmeauskopplung	79
1.1.9 Mechanischer Aufbau	87
1.2 BHKW-Steuerung	88
1.2.1 BHKW-Zentralsteuerung	89
1.2.2 BHKW-Modulsteuerung	90
1.3 Emissionen / Umweltbeeinträchtigungen und Gegenmaß- nahmen	92
1.3.1 Exkurs: Rechtliche Grundlagen Emissionsschutz	92
1.3.2 Akustisches Verhalten / Schallschutz im Modul	93
1.3.3 Abgasverhalten und Schadstoffentstehung	95
1.3.4 Maßnahmen zur Schadstoffreduktion	100
1.4 Energetische Kennzahlen von Modulen und Systemen	105
1.4.1 Wirkungsgrade	105
1.4.2 Nutzungsgrade	107
2 Planung einer BHKW-Anlage	111
2.1 Genehmigungsrechtliche Fragen und Anmeldeverfahren	112
2.1.1 Anforderungen des Bundes-Immissions-Schutzgesetzes	114
2.1.2 Wasserhaushaltsgesetz	116
2.1.3 Baurecht und Bauantrag	117
2.1.4 Steuerrechtliche Bestimmungen	122
2.1.5 Sicherheits- und Normungsbedingungen	124
2.1.6 Anmeldung bei Versorgungsbetrieben	124
2.2 Installation und Zubehör der BHKW-Module	127
2.2.1 Aufstellungsort	127
2.2.2 Zu- und Abluftanlagen	131
2.2.3 Schmierölversorgung	138

2.3	Brennstoffversorgung	139
2.3.1	Leitungsgebundene Gasversorgung	140
2.3.2	Flüssiggasversorgung durch lokale Tankanlage	140
2.3.3	Versorgung durch Biogas und Sondergase	142
2.3.4	Heizöl / Schweröl / Pflanzenöl	149
2.4	Hydraulischer Anschluß	152
2.4.1	Exkurs: Arbeitsweise einer Warmwasserheizung	153
2.4.2	Vorhandenes Heizungssystem und mögliche Mängel	167
2.4.3	Einbindung des BHKW	171
2.4.4	Pufferspeicher	176
2.4.5	BHKW in Schwimmbädern	184
2.4.6	Wärmenetze	186
2.5	Elektrischer Anschluß des BHKW	192
2.5.1	Exkurs: Elektrische Betriebsmittel	192
2.5.2	Exkurs: Elektrizitätszähler	199
2.5.3	Arten der Einspeisung	206
2.5.4	Blindleistungs-Kompensation	216
2.5.5	Ersatzstromerzeugung durch BHKW	220
2.6	Steuerungstechnische Einbindung	223
2.6.1	Exkurs: Arbeitsweise einer Heizungsregelung	223
2.6.2	Eingriff in die Brennersteuerung	225
2.6.3	Weitere Eingriffe in die Heizungsregelung	227
2.6.4	Übernahme der Heizungsregelung durch die Zentralsteuerung	228
2.6.5	Sicherheitstechnische Einrichtungen	229
2.7	Abgasanlagen	231
2.7.1	Auslegung von Abgasanlagen	231
2.7.2	Kondensat	235
2.7.3	Externe „Brennwert“-nutzung	235
2.8	Kälteerzeugung mit BHKW	236
2.8.1	Klimakälte	236
2.8.2	Kühl- und Tiefkühlbereich	238
2.8.3	Wärmepumpenbetrieb mit BHKW	240
3	Betriebsführung und Regelung	241
3.1	Betriebsarten der BHKW-Anlage	242
3.1.1	Brennstoffgeführter Betrieb	242
3.1.2	Wärmegeführter Betrieb	246
3.1.3	Stromgeführter Betrieb	250
3.1.4	Mischformen der unterschiedlichen Betriebsführungs-Varianten	256
3.2	Regelvorgänge außerhalb des Moduls	257
3.2.1	Vorgänge innerhalb der Heizungsregelung	257
3.2.2	Regelvorgänge innerhalb der Zentralsteuerung	259

3.3	Regelvorgänge innerhalb des Moduls	263
3.3.1	Zuschaltung und Anlauf	263
3.3.2	Regelvorgänge im Betrieb	266
3.3.3	Abschaltung des Moduls	269
3.4	Verträglichkeit von BHKW und Gesamtsystem	271
3.4.1	Elektrisches Verhalten	271
3.4.2	Thermische Beeinflussung und regelungstechnische Gegenmaßnahmen	272
3.5	Datenübertragung und Störungs-Fernmeldung	273
3.5.1	Hardware	273
3.5.2	Übertragungswege	275
3.5.3	Möglichkeiten der Fernwirktechnik	276
4	Kosten, Auslegung und Wirtschaftlichkeit	281
4.1	Kosten	282
4.1.1	Fixkosten	282
4.1.2	Variable Kosten	286
4.2	Erlöse	286
4.2.1	Feste Erlöse	286
4.2.2	Variable Erlöse	287
4.2.3	Erlöse aus Strom- und Wärmeverkauf	288
4.3	Bestimmung der optimalen Anlagengröße	289
4.3.1	Der Überschuß als Funktion der Anlagengröße	289
4.3.2	Wahl der Anlagengröße aufgrund der Jahresdauerlinie	290
4.3.3	Wirtschaftlichkeitsberechnung	291
5	Organisation und Vertragsgestaltung	297
5.1	Eigentümer, Betreiber und Nutzer	298
5.1.1	Betreibermodelle	298
5.2	Verträge	299
5.2.1	Verträge zu Errichtung und Wartung	299
5.2.2	Verträge mit Brennstofflieferanten	303
5.2.3	Verträge mit EVU	303
5.2.4	Verträge mit Energie-Abnehmern und Strom-Durchleitung	305
5.2.5	Verträge mit Versicherungen	306
5.3	Energie- und Steuerrecht	307
5.3.1	Energierrecht	307
5.3.2	Energiesteuern	308
6	Objektauswahl / Objektbegehung	311
6.1	Erste Auswahlkriterien	313
6.1.1	Brennstoffverfügbarkeit	314

6.1.2	Stromverbrauch	317
6.1.3	Wärmeverbrauch	318
6.1.4	Modulgröße und -anzahl	320
6.2	Vor-Ort-Objektprüfung und Einbindungsplanung	322
6.2.1	Brennstoffanlage	323
6.2.2	Elektrische Anlage	324
6.2.3	Heizungsanlage	324
6.2.4	BHKW-Aufstellungsraum	325
6.2.5	Zubehör	325
7	Die Zukunft der BHKW-Technik	327
7.1	Technische Weiterentwicklung	328
7.1.1	Die Zukunft des BHKW mit Hubkolben-Verbrennungsmotor	328
7.1.2	Das BHKW mit Stirling-Motor	329
7.1.3	Brennstoffzellen-BHKW	332
7.2	Politisch / wirtschaftliche Entwicklungstendenzen	333
7.2.1	Energiepolitische Ziele und Hemmnisse	333
	Literaturverzeichnis	335
	Stichwortverzeichnis	339

Einführung

Der Begriff „Blockheizkraftwerk“, der ursprünglich Dampfkraftwerke von vielen MW zur gleichzeitigen Strom- und (Fern-)Wärmeproduktion bezeichnete, hat sich auch für anschlußfertige Aggregate von wenigen kW bis zu einigen 100 kW etabliert.

Diese nutzen nicht mehr den Wasserdampfprozess, vielmehr werden Verbrennungsmotoren (selten Gasturbinen) mit elektrischen Generatoren und nun vermehrt auch Brennstoffzellenaggregate als BHKW bezeichnet

Der Begriff „Klein-BHKW“ stellt wiederum eine Abgrenzung der Aggregate unter 30 kW gegenüber den bisher meistverbreiteten Geräten über dieser Leistungsklasse dar.

Im Gegensatz zum bekannten „Not-“ bzw. Ersatzstromaggregat für den Einsatz von kurzer Dauer werden BHKW für eine Lebensdauer von 60.000 Stunden und mehr ausgelegt und nutzen die Motor- und Abgas-Abwärme fast vollständig aus. BHKW werden in der Regel mit Erdgas, seltener mit Heiz- oder Dieselöl betrieben. Die Aggregate müssen wochenlang im Dauerbetrieb ohne Wartung auskommen. Dies erfordert einige technische Kunstgriffe.

Die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Strom (engl. „co-production“) hat den offenkundigen Vorteil einer fast vollständigen Brennstoffausnutzung:

Während auch die besten Steinkohlekraftwerke zur reinen Stromerzeugung nur um 50 % Wirkungsgrad aufweisen und reine Heizkessel zwar fast alle Energie des Brennstoffs umsetzen, aber nur in energetisch minderwertige Niedertemperaturwärme verwandeln, nutzen BHKW den Brennstoff fast vollständig aus, wie Bild 1 zeigt, auch unter Berücksichtigung etwaiger Übertragungsverluste.

Der Grund hierfür ist schlicht die Tatsache, daß die vollständige Abwärmenutzung großer Kraftwerksblöcke technisch bzw. wirtschaftlich nicht möglich ist.

Große BHKW müssen die erzeugte Wärme mittels (selten vorhandener und sehr teurer) Fernwärmenetze zum Verbraucher bringen, dagegen erzeugen kleine BHKW die Wärme am Verbrauchsort. Der Strom kann ins vorhandene Netz eingespeist oder (besser, da wirtschaftlicher) ebenfalls am BHKW-Standort verbraucht werden.

Da jedoch Wärme- und Stromerzeugung im festen Verhältnis zueinander stehen, und der Verbrauch fast immer vorgegeben ist, stellt diese Verkettung, neben den relativ hohen spezifischen Anlagenkosten, sehr hohe Ansprüche an eine präzise Planung der BHKW-Anlage, damit die erhoffte wirtschaftliche Betriebsweise auch praktiziert werden kann.

Zur Konzeption dieses Handbuchs

Abschnitt 1

enthält den grundlegenden **technischen Teil** und geht auf die genehmigungsrechtlichen Probleme ein:

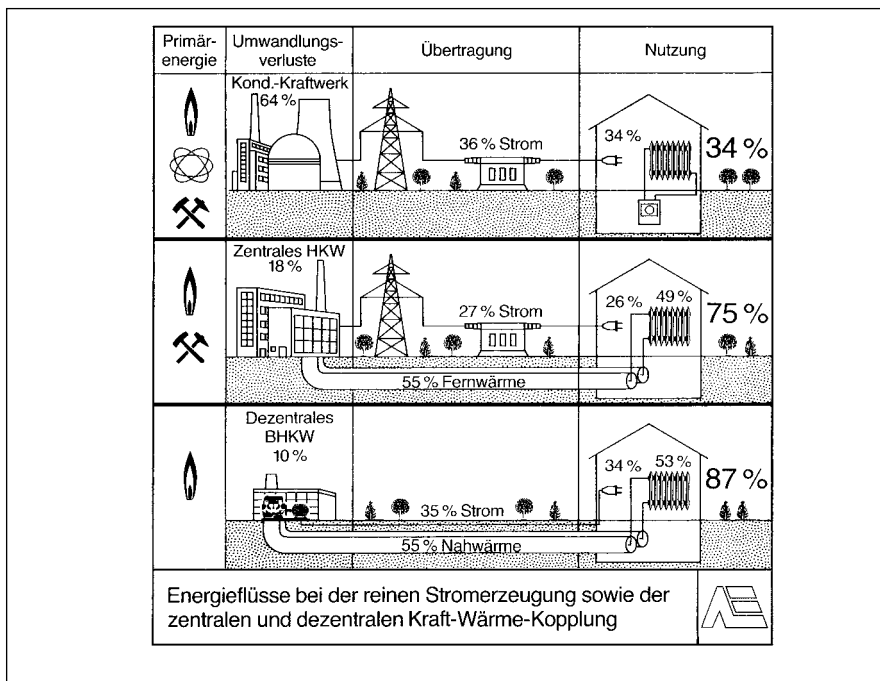
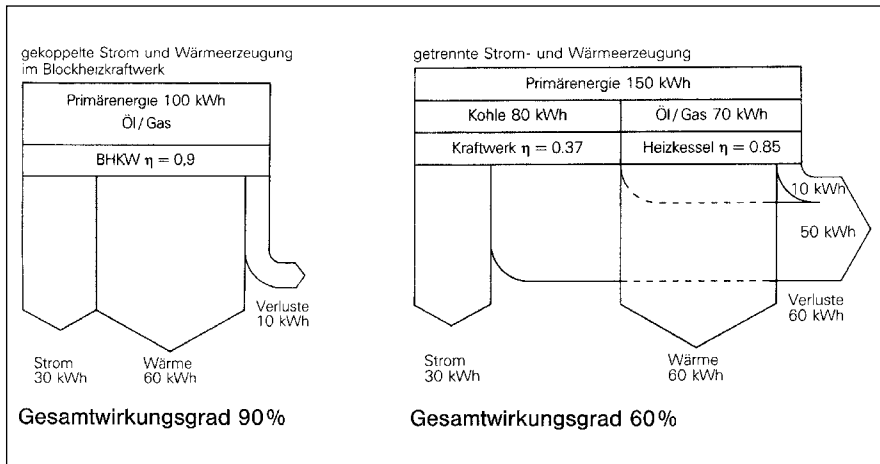


Bild 1: Systemvergleich BHKW / getrennte Strom- und Wärmeerzeugung
 Oben: BHKW-Modul (Comuna metall)
 Unten: Versorgungssystem (ASUE)