

Blockheizkraftwerke

mit Verbrennungsmotorantrieb



Abb. 1: BHKW-Nahwärmeversorgung für das Kreishaus Ingelheim (Fotos: COMUNA metall)

In Blockheizkraftwerken (BHKW) wird mit Hilfe von Verbrennungsmotoren Strom und Niedertemperaturwärme (90°C bis ca. 110°C) erzeugt, wobei die Primärenergieausnutzung 90 bis 95% erreicht. Verglichen mit der getrennten Elektrizitäts- und Wärmeproduktion in Kondensationskraftwerken und Heizkesseln spart der BHKW-Betrieb neben CO_2 und Luftschadstoffen rund 30 bis 40% an Primärenergie ein. BHKW sind oft dort wirtschaftlich, wo ein kontinuierlicher, größerer Wärme- und Strombedarf anfällt oder der BHKW-Strom angemessen vergütet wird. Die Zahl der Anlagen wächst in den letzten Jahren allerdings eher mäßig; trotz bewährter Technik und vielfältiger Einsatzmöglichkeiten. In Verwaltungsgebäuden, Wohnsiedlungen, Krankenhäusern, Schul- und Sportzentren sowie Gewerbebetrieben kommen bevorzugt Klein-BHKW (bis $30 \text{ kW}_{\text{el}}$) und sog. Kompakt-BHKW (30 bis ca. $400 \text{ kW}_{\text{el}}$) zum Einsatz. Groß-BHKW ($> 1 \text{ MW}_{\text{el}}$) unterhalten z.B. größere Nahwärmenetze. Sie konkurrieren in dieser Leistungsklasse mit Gasturbinen.

Im Brennpunkt der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben stehen seit Ende der 80er Jahre u.a. Abgasoptimierung, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK), heißwassergekühlte Verbrennungsmotoren mit höheren Nutzwärmetemperaturen sowie Stirlingmotor-BHKW ($3\text{-}40 \text{ kW}_{\text{el}}$), die sich mit einer großen Vielfalt von Brennstoffen auch minderer Qualität, z.B. Abfällen, bestücken lassen und kurz vor der Markteinführung stehen. Auch Brennstoffzellen-BHKW gewinnen an Bedeutung, wobei Module mit phosphorsäuren (PAFC) und mit Polymer-Elektrolyt-Membran-Zellen (PEMFC) in der Entwicklung schon weit fortgeschritten sind.

Der liberalisierte Strommarkt eröffnet Eigenerzeugern *grundsätzlich* neue Vermarktungsmöglichkeiten, diese sind aufgrund ausstehender energierechtlicher Regelungen jedoch noch nicht greifbar. Die Auswirkungen der Liberalisierung auf die Wirtschaftlichkeit eines BHKW-Projekts sind damit noch unklar. Potentiellen Anwendern und Investoren wird im folgenden ein Einblick in die Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten, Finanzierungs- und Betreibermodellen vermittelt, wobei Projektbeispiele sowie wichtige Stationen der BHKW-Planung und -Genehmigung skizziert werden.

Technik und Einsatzmöglichkeiten

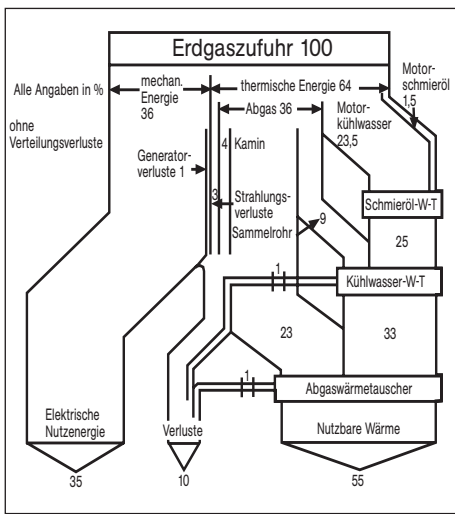


Abb. 2: Energiebilanz eines BHKW-Moduls

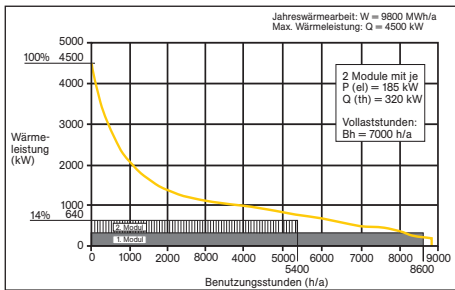


Abb. 3: Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmeverbrauchs einer 500-Betten-Klinik. Anhand dieser Grafik erfolgt üblicherweise die Auslegung des BHKW bzgl. Anzahl und Größe der Module.

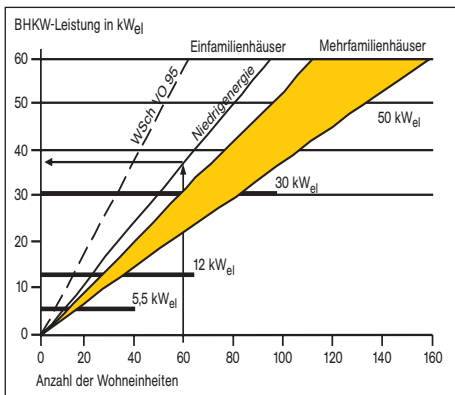


Abb. 4: Typische BHKW-Leistungsklassen für den Wohnungsbausektor (Ein- und Mehrfamilienhäuser) in Abhängigkeit von der Anzahl der Wohneinheiten und ihren Wärmeschutzstandards.



Abb. 5: Das 55 kW_{el}-Modul findet Platz in der Garage des Lokals.

Die ursprünglich in Fahrzeugen und Schiffen eingesetzten Motoren wurden im Hinblick auf die Anforderungen eines geräusch- und abgasarmen, vollautomatisierten BHKW-Betriebs erheblich verbessert. Bei regelmäßiger Wartung erzielen BHKW-Motoren eine Lebensdauer von 10-20 Jahren, je nach Motorgröße, Drehzahl, Starthäufigkeit und Betriebsdauer. Ihre Verfügbarkeit liegt bei 95%. Mittels Katalysatoren und einem optimierten Brennstoff-Luft-Gemisch (Magermotorkonzept), das den Zylindern zugeführt wird, kann der Gehalt von NO_x, Kohlenwasserstoffen und CO im Abgas deutlich unter die Grenzwerte der TA-Luft gesenkt werden. Fast immer wird ein BHKW bivalent zu einer Heizkesselanlage betrieben. 5000 Vollaststunden jährlich genügen häufig, um den Grundlastwärmebedarf abzudecken und einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. Aus Abgas, Motorkühlwasser und Schmieröl wird mittels Wärmeübertragern die Nutzwärme gewonnen (s. Abb. 2). Ist die Motorkühlung nicht mehr sichergestellt, weil die Heizungsrücklauftemperatur z.B. mehr als 70°C beträgt, schaltet sich das BHKW ab. Die elektrischen Nennlast-Wirkungsgrade von Gas-Otto- und Diesel-Motoren liegen zwischen 28 und 43% bzw. 40 und 46%. Auch im Teillastfall bleiben sie hoch.

BHKW-Einsatz im Herzzentrum Leipzig

Das Herzzentrum ist eine privat geführte Klinik, die der Universität Leipzig angegliedert ist. In dem 1994 errichteten Gebäude sind 347 Betten untergebracht, 86 davon für intensivmedizinische Behandlung. Vier gewöhnlich wärmegeführte, erdgasbefeuerte BHKW-Module mit je 239 kW_{el} und 402 kW_{th} Leistung decken zusammen mit den beiden Spitzenlastheizkesseln (Gesamtleistung ca. 2,3 MW_{th}) den Wärmebedarf für Wasser und Raumheizung von rund 2,6 MW_{th} sowie den Stromhöchstbedarf von rund 500 kW_{el} sicher ab. Im Sommer wird das BHKW aus Kostengründen kurzfristig auch stromgeführt gefahren, um die Stromlastspitze abzusinken. Außerdem wird dann die Motorabwärme von einer LiBr-Absorptionskältemaschine zur Kaltwassererzeugung genutzt. Das BHKW bewährt sich zudem rund 3-4 mal jährlich als Notstromaggregat. Die Motoren sind an Synchrongeneratoren gekoppelt, die sowohl netzparallel als auch im Inselbetrieb arbeiten können.

Pilotprojekt Niedrigenergie-Reihenhaussiedlung Niedernhausen

Die Siedlung wurde zu Beginn der 90er Jahre nach Niedrigenergiehaus-Standard (Wärmebedarf ca. 70 kWh/m²) errichtet und besteht aus 41 Wohneinheiten mit je 132 m² beheizter Wohnfläche. Ein preisgünstiges, nach dänischem Vorbild verlegtes Nahwärmenetz aus Kunststoffmantelrohren versorgt die Reihenhäuser. Zugunsten eines zwar FCKW-freien, jedoch damals nicht optimierten Rohrdämmmaterials, wurden höhere Netzverluste in Kauf genommen. In der Heizzentrale erzeugen zwei erdgasbefeuerte Mini-BHKW-Module mit einer Leistung von je 5 kW_{el} und 13,5 kW_{th} insgesamt 1/3 der benötigten Gesamtwärme, was dem ganzjährigen Warmwasserbedarf samt Netzverlusten entspricht. Zwei Gas-Brennwertheizkessel (Leistung 170 kW_{th}) stehen für den Spitzenlastfall bereit. Der erzeugte Strom wird -bis auf den Eigenverbrauch für die Umwälzpumpen- vollständig ins Netz gespeist. Bis zum Sommer 1998 betrieben die in einem Verein organisierten Bewohner das BHKW in Eigenregie, was in sozialer wie technischer Hinsicht Probleme aufwarf. Es wurde entschieden, die Verantwortung für Heizzentrale und Nahwärmenetz einem externen Dienstleister zu übertragen. Nun ist der regionale Energieversorger Main-Kraftwerke (MKW) Wärmelieferant und Eigentümer der Anlage.

Fast Food Restaurant Gummersbach

Anlässlich gestiegener Energiekosten konsultierte der an Technik interessierte Geschäftsführer des Schnellrestaurants die Energieagentur NRW, die nach einer Grobanalyse eine BHKW-Investition vorschlug. Lange Öffnungszeiten, kontinuierlicher Warmwasserbedarf und die Strombezugskosten ließen eine rasche Amortisation innerhalb von 4-5 Jahren erwarten. Seit 1994 erzeugt ein erdgasbetriebenes BHKW-Modul (Leistung: 55 kW_{el}) mehr als 80% des gesamten Strombedarfs von rund 450 MWh jährlich. Die Anlage wird stromgeführt gefahren, nur in den Sommermonaten kann die Wärme nicht vollständig genutzt werden. Im Rahmen einer für dieses Jahr geplanten Küchenrenovierung ist vorgesehen, die bislang elektrisch betriebenen Warmhaltefächer (Leistungsbedarf 1 bis 5 kW_{el}) mit einem Thermoöl- oder Warmwasserleitungssystem auszustatten. Die BHKW-Investitionskosten betragen 130.000 DM. Zwischen dem ortsansässigen Hersteller und dem privaten Betreiber wurde ein Leasing- und Teilwartungsvertrag vereinbart.

Organisatorische Anforderungen

Um ein geeignetes Finanzierungs- und Betriebsmodell für ein BHKW-Projekt auszuwählen, muß ein Investor das ihm verfügbare technische Know-How sowie Finanzierungsvolumen und Personalkapazität bezüglich Planung, Betrieb und Wartung abschätzen und in ein Realisierungskonzept einbringen.

Installation, Betrieb und Wartung

Klein- und Kompakt-BHKW sind oft anschlussfertig konfektioniert und lassen sich nach Herstellerplänen in ein bestehendes Heizsystem schnell integrieren. Im Fall von Groß-BHKW müssen Planungsbüros konsultiert werden. Eine vollautomatisierte Fahrweise erfordert die Wahl von Betriebsprogrammen (Wärme- und Strombedarfsführung). Erfahrungsgemäß tritt rund 3-5 mal jährlich eine Störung auf. Ist die Anlage mit Datenfernüberwachung (DFÜ) ausgestattet, so wird die Wartungs- bzw. Herstellerfirma sofort davon unterrichtet. Der Anlagenstillstand kann dann meist innerhalb weniger Stunden beseitigt werden. Um gegen Ausfälle und ihre Folgen besser abgesichert zu sein, können langfristige Vollwartungsverträge (s. Abb. 8) mit Betriebsgarantien vorteilhaft sein. Preisgünstiger sind Teilwartungsverträge, so kann z.B. ein geschulter Hausmeister mindestens die Regelwartung (Sichtinspektion, Öl- und Zündkerzenwechsel) während weniger Stunden im Jahr durchführen.

Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

Die Wirtschaftlichkeit einer BHKW-Investition verbessert sich, wenn die produzierte Wärme möglichst vollständig genutzt wird. Noch wesentlicher ist die reale und kalkulatorische Vergütung des erzeugten Stroms. Da Strom aus BHKW nicht unter die Bedingungen des Stromeinspeisegesetzes fällt (Ausnahmen sind Strom aus Biomasse, Klär- und Deponiegasanlagen), wird nach Verbändevereinbarung vergütet. Der kalkulatorische Wert des Stroms richtet sich nach den vermiedenen Kosten des Investors, die sonst durch Fremdstrombezug entstanden wären, wobei Arbeits- und Leistungspreis zu berücksichtigen sind. Nur wenige Stadtwerke vergüten mehr als 9-10 Pf pro Kilowattstunde eingespeisten Stroms. Wichtig sind außerdem die Konditionen für Zusatz- und Reservestrombezug, die BHKW-Betreiber und EVU aushandeln müssen. Die energiesteuerliche Behandlung von BHKW-Brennstoffen wird durch das „Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform“ vom März 1999 erheblich verbessert. Alle KWK-Anlagen mit einem Jahresnutzungsgrad von mindestens 70% sind vollständig von der Mineralölsteuer befreit. Für BHKW mit einer Leistung unterhalb von 700 kW_{el} entfällt die Stromsteuer. Letzteres führt zu einer Ersparnis von 2 Pfennigen pro Kilowattstunde erzeugtem BHKW-Strom.

Zur Eigenfinanzierung können u.a. Kommunalkredite oder Umwelt-Sonderkredite genutzt werden. Förderung für BHKW gewähren nur noch wenige Bundesländer oder Kommunen. Daneben kommen Drittfinanzierungsformen wie z.B. Leasing, Contracting, Wärmelieferung von externen Dienstleistern (Ingenieurbüros, Hersteller, Energieagenturen, EVU) in Betracht. Die Angebote variieren bzgl. des Leistungsumfangs und weiterer Aspekte: Eigenkapitaleinsatz, steuerliche Handhabung, Eigentumsrechte, Wartung und Stromvermarktung. Beim Contracting z.B. werden Investitionen und Dienstleistungen mittels sog. Contracting-Raten (s. Abb. 6) vom Investor über einen Zeitraum, der der kalkulierten Lebensdauer der Anlage entspricht, refinanziert. Durch Standardisierung des Contracting-Angebots lassen sich gegenüber einzeln geplanten Investitionen mitunter günstige Konditionen erzielen.

Genehmigungsverfahren

Oft kümmern sich BHKW-Hersteller oder Planungsbüros um das Genehmigungsverfahren, wobei Energie-, Umwelt- und Baurecht zu berücksichtigen sind. Ein BHKW ist grundsätzlich baugenehmigungspflichtig, manche Bundesländer verzichten in bestimmten Fällen jedoch auf ein Verfahren. Für Klein- und Kompakt-Anlagen, sofern sie nicht mit Altöl, Deponie-, Klär- oder Biogas betrieben werden, ist ein Verfahren nach BImSchG nicht erforderlich. Dennoch sollten die Grenzwerte der TA-Luft und die Immissionsrichtwerte der im Herbst 1998 novellierten TA-Lärm vom Hersteller garantiert werden. Darüberhinaus müssen Aufstellungsraum und Abgasanlage eine Reihe technischer Normen (nach VDE, DIN) erfüllen und die EVU- und VDEW- Richtlinien zum Netzparallelbetrieb elektrotechnischer Anlagen beachtet werden. Weder Stromeinspeisung ins öffentliche Netz noch Stromeigennutzung bedürfen einer Genehmigung der Energieaufsichtsbehörde nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) vom April 1998, gegebenenfalls jedoch eine Strombelieferung von Dritten.

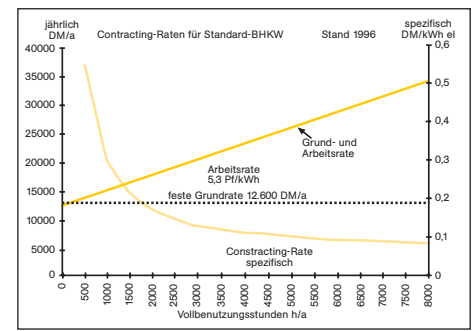


Abb. 6: Contracting-Raten für die „Bereitstellung eines betriebsbereiten 50 kW_{el}-Standard-BHKW“ der hessenENERGIE GmbH. In diesem Vertragsmodell kümmert sich der Vertragsnehmer selbst um Einspeisevergütung und Wärmenutzung. Die Jahresrate besteht aus einer nutzungsunabhängigen Grundrate (12.600 DM) und einer Arbeitsrate von 5,3 Pf pro tatsächlich erzeugter Kilowattstunde Strom. Bei 6.000 Vollastbenutzungsstunden ergibt sich eine Jahresrate von 28.500 DM.

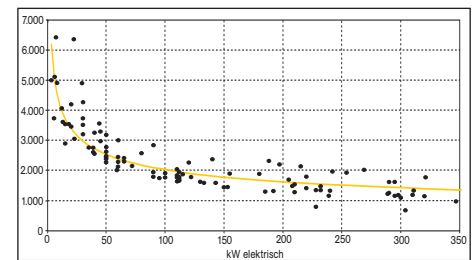


Abb. 7: Preise für BHKW-Module. Die spezifischen Kosten sinken mit zunehmender Anlagengröße.

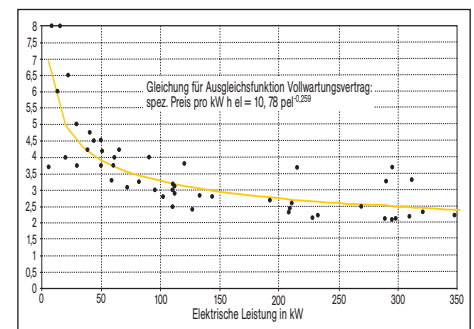


Abb. 8: Kostenspektrum für Vollwartungsverträge (spezifische Preise, Vollwartungspreise)

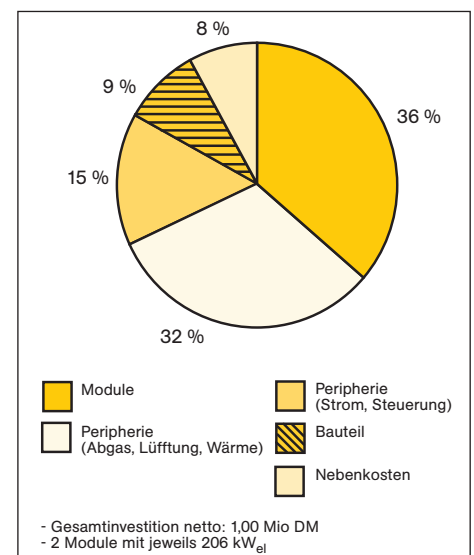


Abb. 9: Investitionskostenanteile

Perspektiven

Ende 1997 wurden rund 5% der gesamten deutschen Stromerzeugungskapazität durch BHKW auf Basis von Motoren und Gasturbinen abgedeckt. Ihre Gesamtnennleistung beträgt 6-7 GW_{el}, wovon mehr als 4 GW_{el} von etwa 300 Gasturbinen-BHKW bereitgestellt werden. Die Zahl der installierten BHKW-Anlagen hat sich seit 1990 bis Anfang 1998 von ca. 1400 auf über 5000 erhöht, der jährliche Zuwachs ist jedoch seit 1995 rückläufig. Zum Bestand zählen rund 1000 Mini-BHKW mit einer Leistung von 5-10 kW_{el}. Statt mit Erdgas, Öl oder Dieselmotoren werden einige BHKW auch mit Biogas, Pflanzenölen sowie mit Klär-, Gruben- und Deponiegas befeuert. Letzteres ist schon deshalb sinnvoll, um klimawirksame Methanemissionen zu vermeiden. Das bis 2010 in Industrie und Kommunen erschließbare KWK-Potential wird in verschiedenen Studien auf mindestens das fünffache der aktuellen KWK-Stromproduktion geschätzt. Dies entspricht einer zusätzlichen Leistung von knapp 14 GW_{el}.

Doch das große Potential wird nicht nur aufgrund von teilweise überflüssigen bürokratischen Hürden bislang wenig genutzt. Grundsätzlich stehen BHKW-Projekte in Konkurrenz zu Angeboten getrennter Strom- und Wärmeerzeugung z.B. der Verbundunternehmen, die Eigentümer von 4/5 der Stromerzeugungskapazität sind. Doch aufgrund der EU-Richtlinie müssen Eigenerzeuger ihren Strom nicht mehr zu Niedrigtarifen an ihr angestammtes „Gebiets-EVU“ verkaufen, sondern können es -im Prinzip- bundesweit, u.a. mit dem Hinweis auf die ökologische Höherwertigkeit des so erzeugten Stroms, vermarkten. Auch würden Stromanbieter, die anders als die Verbundunternehmen Zusatz- und Reservestrom zu günstigeren Konditionen anbieten, die Wirtschaftlichkeit von BHKW verbessern. Dazu müssen zukünftig die Netzzugangskonditionen - stärker als bisher - fair und verbindlich geregelt werden.

Literatur

R. Stein: Blockheizkraftwerke - Ein Leitfaden für den Anwender. Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH. TÜV-Verlag, Köln, 1998. ISBN 3-8249-0472-1. BINE-Informationenpakete.

F. Steinborn (Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Stuttgart): Handbuch BHKW-Plan, Bieberstein alpha&omega Verlag, Radebeul, 1998. ISBN 3-927656-08-9.

W. Suttor; A. Müller: Das Mini-Blockheizkraftwerk. Eine Heizung, die auch Strom erzeugt.

C. F. Müller, Heidelberg, 1999. ISBN 3-7880-7574-0.

Adressenverzeichnisse von Anlagenherstellern, Planern und Dienstleistern sind neben Literaturverzeichnissen zum Thema beim Informationsdienst BINE erhältlich.

Jährliche BHKW-Marktübersichten werden u.a. von der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE) herausgegeben.

Die „Datenbank Blockheizkraftwerke“ der hessenENERGIE GmbH enthält Kenndaten von über 2.500 Referenzanlagen, BHKW-Herstellern und angebotenen Modulen. Eine Aktualisierung zum Stand September 1997 erscheint in Kürze.

Weitere Informationen zu diesem und weiteren Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie zu Neuen Energietechniken, Nachwachsenden Rohstoffen und Umweltthemen sind erhältlich bei:

BINE-Projekt-Infos informieren mehrmals pro Jahr zu Forschungsvorhaben des BMWi im Bereich neuer Energietechnologien und zu Umweltthemen. Sie können abonniert werden. Dieser Service ist kostenfrei und wird gefördert vom BMWi.



Informations-
dienst

Mechenstraße 57
53129 Bonn

■ Tel. 02 28/9 23 79-0
■ Fax 02 28/9 23 79-29
■ bine@fiz-karlsruhe.de

Redaktion: Dipl.-Phys. Susanne Schoofs, Dipl.-Ing. Uwe Friedrich

Herausgeber: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Ein Nachdruck des Textes - auch auszugsweise - ist bei Angabe der Quelle und gegen Zusendung eines Belegexemplares zulässig, ein Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten. Alle Abbildungen und Fotos sind - soweit nichts anderes vermerkt ist - von den Projektdurchführenden zur Verfügung gestellt worden

Projekt- organisation

Förderung des Vorhabens:

Bundesministerium für Wirtschaft
und Technologie (BMWi)
Godesberger Allee 185
53175 Bonn

Projektabwicklung im Auftrag des BMWi:

Projektträger Biologie, Energie,
Umwelt (BEO)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dipl.-Ing. W. Schaefer
52425 Jülich

Projektberichte:

Technische Informationsbibliothek
(TIB) Forschungsberichte
Welfengarten 1B
30167 Hannover

Organisationen:

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen
und umweltfreundlichen Energiever-
brauch e.V. (ASUE)
Postfach 25 47
67613 Kaiserslautern

Betreiberverband Motorkraftwerke
e.V. (BVMKW)
Geisnangstraße 3
71640 Ludwigsburg

hessenEnergie GmbH
Mainzer Straße 98-102
65189 Wiesbaden