



## **Blockheizkraftwerke (BHKW) – Eine Möglichkeit zur Minderung von Energiekosten<sup>1</sup>**

**W. Suttor<sup>2</sup> , E. Jochem<sup>3</sup>**

### **Zusammenfassung**

Blockheizkraftwerke (BHKW) erzeugen zugleich Strom und Niedertemperaturwärme. Sie können wirtschaftlich dort eingesetzt werden, wo am Betriebsstandort Wärme und Strom gleichzeitig mit hohen Jahresnutzungsstunden gebraucht werden. In diesen Anwendungsfällen können sie durch ihren hohen Gesamtwirkungsgrad gegenüber einer getrennten Strom- und Wärmeerzeugung in den heutigen Kraftwerken bzw. Kesselanlagen wirtschaftliche Vorteile haben. BHKW können bis zu einem Drittel Primärenergie einsparen und ermöglichen so eine Verminderung der Energiekosten in der Industrie (z. B. bei Brauereien, Papierfabriken, Textilveredlern, Kunststoffverarbeitern, Molkereien) und in der übrigen Wirtschaft (z. B. bei Kaufhäusern, größeren Bäckerei- und Metzgereibetrieben sowie Hotels, Gaststätten und Verwaltungsgebäuden).

Relativ hohe Strombezugpreise (vor allem in mittelständischen Betrieben der oben genannten Branchen) verbessern die Rentabilität der BHKW-Technik. Durch neue Beteiligungs- und Finanzierungsformen lassen sich Hemmnisse, die der Anwendung der BHKW heute häufig entgegenstehen, abbauen und auch günstige Bedingungen für den Zusammenschluss mehrerer Objekte zu einem sogenannten Nahwärmezentrum mit gemeinsamer Strom- und Wärmeversorgung schaffen. BHKW sind nicht als Konkurrenz zur zentralen Stromerzeugung zu sehen, sondern als sinnvolle Ergänzung infolge eines dezentral bestehenden Wärmebedarfs.

---

<sup>1</sup> Die Erstellung dieses Fachartikels wurde vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Strom" finanziell gefördert

<sup>2</sup> Ing.Büro Suttor, Mengkofen

<sup>3</sup> Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe



So haben sich seit Mitte der 70er Jahre BHKW zu einer ausgereiften und effizienten Technik entwickelt. Die Zahl der BHKW stieg in baden-württembergischen Unternehmen von wenigen Anlagen im Jahre 1978 auf über 100 Anlagen mit einer elektrischen Erzeugungskapazität von ca. 40 MW<sub>el</sub> im Jahre 1994 (HessenEnergie, 1995). Die Chance, die Energiekosten in den Betrieben der geeigneten Branchen zu senken, und der Umweltschutz sind der Motor zum weiteren Ausbau dieser Technik. Was sind die technischen und sonstigen Merkmale, die BHKW heute für viele Betriebe interessant machen?

## 2 Pluspunkt No. 1: Effizienz reduziert Energiebedarf und Emissionen

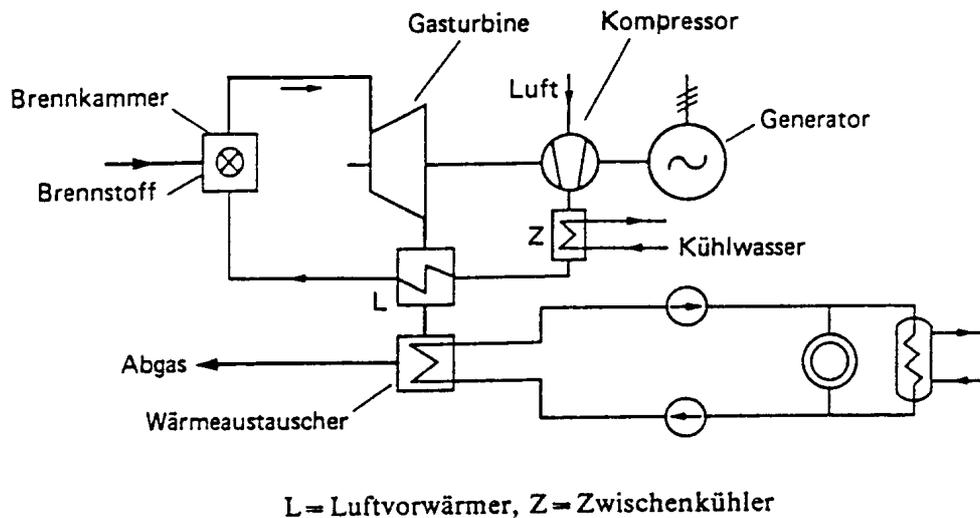
Als BHKW werden relativ kleine und deshalb dezentral, d. h. auf dem jeweiligen Werksgelände oder in unmittelbarer Nähe des Versorgungsobjektes einsetzbare Energieanlagen zur Erzeugung elektrischen Stroms und Wärme bezeichnet (Schaefer, 1994). Zur Erzeugung des elektrischen Stroms dienen Generatoren, die von Verbrennungsmotoren (vgl. Abbildung 1) oder Gasturbinen (vgl. Abbildung 2) angetrieben werden. Die Wärmeerzeugung ist nichts anderes als die Nutzung der Abwärme der Antriebsmaschinen. Bei Verbrennungsmotoren ist dies die Kühlwasser-, Schmieröl- und Abgaswärme, bei Gasturbinen nur die Abgaswärme. Im allgemeinen hat die Abwärme von Kühlwasser und Schmieröl eine Temperatur knapp unter 100°C. Die Abgase dagegen haben höhere Temperaturen. So wäre es auch möglich, höhere Temperaturen für die Nutzwärme zu erzielen; aber der Aufwand mit zwei getrennten Wärmesystemen wäre meist zu hoch. Deshalb erzeugen BHKW meist Heißwasser mit einem Temperaturniveau von ca. 90°C bis 120°C. Ideal für hohe Nutzenergien Temperaturen bis zu 400°C sind die Gasturbinen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Betriebsdaten von BHKWs

	Einheit	Gasturbinen	Verbrennungsmotoren
Elektrische Leistung	MW <sub>el</sub>	1 – 100	0,005 – 20
Nutzwärmetemperatur	°C	100 – 400	90 – 120
Stromkennzahl	(–)	0,3 – 0,6	0,5 – 1
Nutzungsgrad	%	72 – 80	75 – 86
Flächenbedarf	m <sup>2</sup> /MW <sub>th</sub>	10 – 30	60 – 120

Quelle: Suttor, 1994

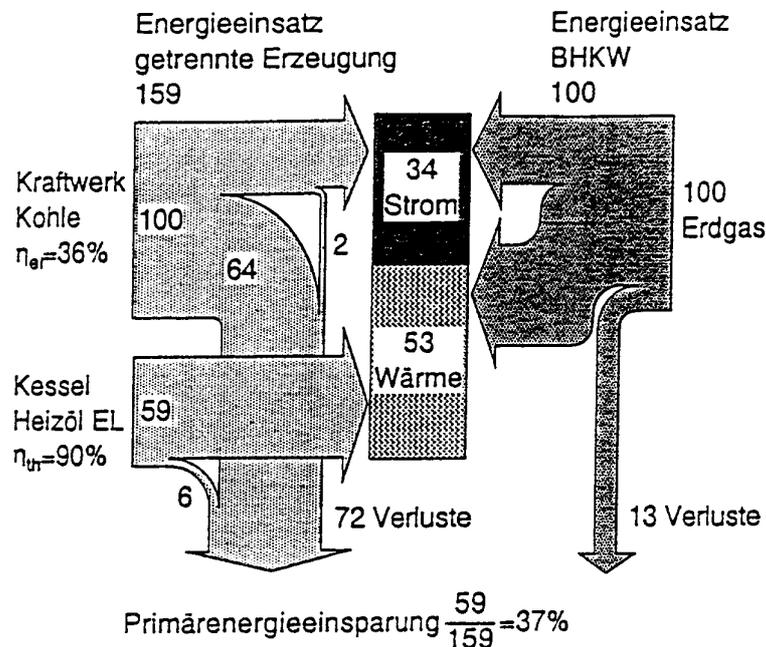
Abbildung 2: Schaltschema eines BHKW mit Gasturbine (Quelle: Recknagel et al., 1990)



Eine übers Jahr gleichmäßige Wärmeabnahme ist für den rentablen Betrieb eines BHKW entscheidend. Ergeben sich Tagesschwankungen im Wärmebedarf, muss das BHKW teilweise (mit einzelnen Modulen) oder ganz abgeschaltet werden. Kleinere Schwankungen können durch einen Wärmespeicher ausgeglichen werden. In der gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung wird bei hohen Jahresnutzungsstunden der eingesetzte Brennstoff rationeller umgesetzt als in der vergleichbaren getrennten Strom- und Wärmeerzeugung in einem großen heutigen Wärmekraftwerk bzw. einem Heizkessel. Die eingesparten Energiemengen können zwischen 25 und 37 % liegen (vgl. Abbildung 3). Die Anteile der eingesparten Energiemengen variieren mit dem Gesamtwirkungsgrad des BHKW und der Höhe der Stromkennzahl (Verhältnis Strom- zu Wärmeerzeugung) sowie mit den technischen Merkmalen der Vergleichstechnik für die jeweils getrennte Kondensationsstromerzeugung und die Wärmeerzeugung.

In der Regel bestehen die BHKW mit Verbrennungsmotoren aus mehreren Modulen, Motor-Generator-Einheiten mit integriertem Wärmeaustauscher ("Kompaktmodul"), deren Komponenten auf Serienprodukten basieren und deshalb zu wettbewerbsfähigen Preisen und hoher Zuverlässigkeit führen. Die spezifischen Zusatzinvestitionen liegen bei 1.600,- bis 3.100,- DM/kW<sub>el</sub>, je nach Anlagengröße (1200 bis 150 kW) und Anwendungsfall (Nitsch, 1995). BHKW-Anlagen arbeiten als unbesetzte Anlagen automatisch und Störungen werden über Sammelmeldungen in die Warte oder andere Überwachungsstellen weitergeleitet. BHKW-Anlagen werden heute in den Betrieben innerhalb eines großen Leistungsbereichs zwischen 5 kW<sub>el</sub> und 20 MW<sub>el</sub> genutzt. Die überwiegende Zahl der BHKW-Module liegt zwischen 50 kW<sub>el</sub> und 2 MW<sub>el</sub>. Gasturbinen-BHKW reichen von 1 bis 50 MW<sub>el</sub>, wobei die Leistungsschwerpunkte bei 2 und 10 MW<sub>el</sub> liegen (vgl. Tabelle 1).

Abbildung 3: Vergleich der eingesetzten Energiemengen eines BHKW mit Verbrennungsmotor und der getrennten Erzeugung von Strom in heutigen kohlegefeuerten Wärmekraftwerken und Wärme in konventionellen Kesseln (Quelle: Kaiser/Hausladen, 1994)



## Emissionen

Die für BHKWs einsetzbaren Gasmotoren arbeiten nach dem Otto-Prozess. Entscheidend für den umweltfreundlichen Betrieb ist die geregelte Brennstoff-Luft-Mischung (Lambda-Regelung). Das Gas-Luft-Gemisch wird durch einen Vergaser geregelt und auf die einzelnen Zylinder verteilt. Die gasmotorisch betriebenen BHKW werden i.a. mit Katalysator betrieben.

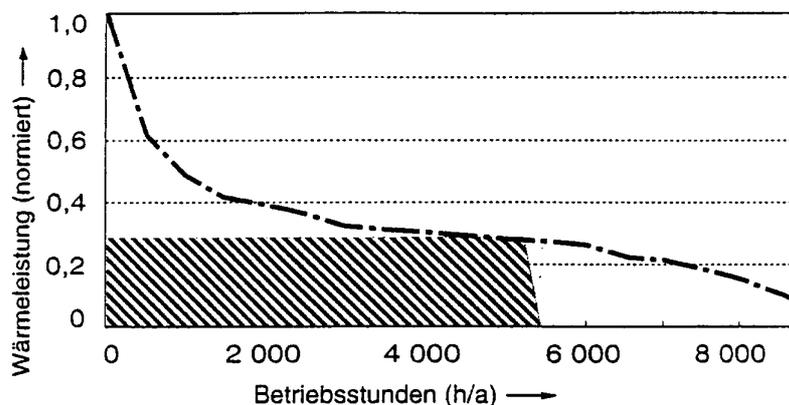
Die  $\text{CO}_2$ - und  $\text{SO}_2$ -Emissionen sind vom Brennstoffeinsatz abhängig. So bedingt die Verbrennung von Kohle, der Hauptbrennstoff der heutigen Kraftwerke, einen wesentlich größeren  $\text{CO}_2$ -Ausstoß als die Verbrennung von Erdgas. Die Emissionen von Stickoxiden bei Gasmotoren konnten inzwischen nahezu auf den Wert von heutigen Gasheizkesseln gesenkt werden. Bei Gasmotoren mit Katalysatoren entstehen im Vergleich zur Stromerzeugung in Kohlekraftwerken und Wärmeerzeugung in Kesseln um etwa 20 % höhere  $\text{NO}_x$ -Emissionen und um etwa 60 % höhere  $\text{CO}_2$ -Emissionen (Dienhart/Nitsch, 1995). Der Betrieb des Spitzenkessels des BHKW mit Heizöl erhöht die  $\text{NO}_x$ -Emissionen um etwa 10 %. Mit Gasturbinen werden mit Magergemischverbrennung ohne Abgasnachbehandlung die Werte eines Gasmotors mit Katalysator erreicht, so dass die Grenzwerte der TA Luft merklich unterschritten werden können. Allerdings muss auch betont werden, dass durch den Mehreinsatz von Brennstoff am Einsatzort die Emissionen eines BHKW gegenüber denjenigen des substituierten Wärmeerzeugers zunehmen (Ausnahme  $\text{SO}_2$  im Fall der Substitution von Heizöl-Kesseln durch erdgasbetriebene BHKW).

## Einsatzfelder für BHKW

Die besten Einsatzmöglichkeiten von BHKW liegen dort, wo ein übers Jahr gleichmäßig hoher Bedarf von Wärme und Strom vorhanden ist. Aufgrund des meist um die 100°C liegenden Temperaturniveaus der Wärme aus motorisch getriebenen BHKW sind die Einsatzfelder in Bereichen großen Warmwasser- und sonstigen NT-Prozesswärmebedarfs in der Industrie: Papierfabrikation, Kunststoffverarbeitung, Betonfertigteilindustrie, Textilveredlung oder Nahrungsmittelindustrie sowie im Gewerbe in Wäschereien, Gärtnereien und Metzgereien, Hotels und Verwaltungsgebäuden (VDI-GET, o.J.). Gasturbinen-BHKW eignen sich zur Trocknung in der Holz- oder Ziegelindustrie, in der Chemischen und der Investitionsgüterindustrie (ASUE.o.J.). Bei einem gleichmäßigen Kältebedarf, z. B. in der Nahrungsmittelindustrie oder den Webereien, aber auch in Lebensmittelgroßmärkten und großen Kaufhäusern, kann die Motorabwärme über Absorptionskälteanlagen zur Kühlung oder zur Klimatisierung verwendet werden (ASUE, 1994).

Bei allen Planungen gilt jedoch zunächst der Grundsatz, den Wärme- und Strombedarf der Betriebe zunächst durch rentable Einsparmaßnahmen zu reduzieren und somit eine zu große Auslegung des BHKW zu vermeiden. Wenn kein ausreichender gleichzeitiger Bedarf von Strom und Wärme besteht, d. h., wenn nicht eine Betriebsstundenzahl des BHKW von mindestens 3000 bis 4000 Stunden pro Jahr erreichbar ist, wird die Rentabilität der Anlage in Frage stehen. Deshalb muss eine Anlage i.d.R. so dimensioniert werden, dass die Wärmegrundlast des Betriebes durch das BHKW abgedeckt wird und die Spitzenlast durch einen Kessel bedient wird. So beträgt die durch den Motor geleistete Wärmearbeit häufig zwischen 50 % und 65 % der Jahreswärmearbeit für einen Industrie- oder Gewerbebetrieb (vgl. Abbildung 4), während der Wärmeleistungsanteil des BHKW nur bei einem Sechstel bis zu einem Viertel liegen mag.

Abbildung 4: Jahresdauerlinie eines Gewerbebetriebs (die schraffierte Fläche stellt die vom Motor verrichtete Wärmearbeit dar)



Die hohe Wärmespitzenleistung, die durch Kessel gedeckt werden muss, erklärt sich aus Anfahrspitzen im Tagesablauf und dem Heizwärmebedarf im Winterhalbjahr. Diese

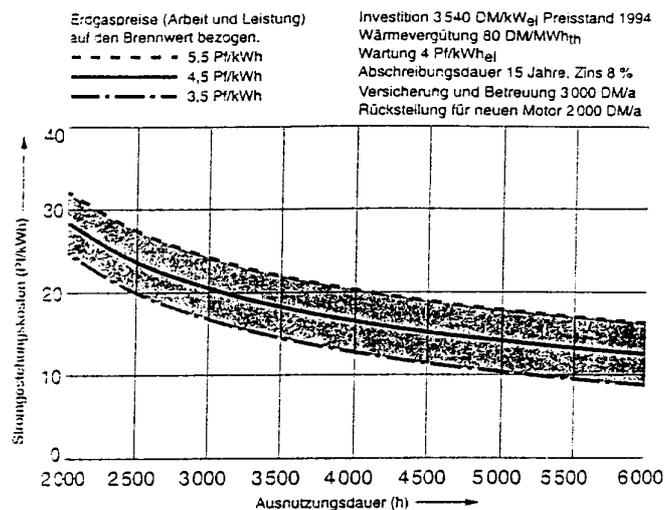
Kesselanlagen müssen auch so dimensioniert sein, dass sie den Spontanausfall der BHKW-Anlage kompensieren können.

Gasturbinen und Verbrennungsmotoren können mit flüssigen und gasförmigen Brennstoffen betrieben werden. Bezüglich des Brennstoffes der in der Wirtschaft betriebenen BHKW besitzen Heizöl mit etwa 43 % und Erdgas mit 36 % Anteil die größte Bedeutung, gefolgt von brennstoffumschaltbaren Gas/Dieselanlagen (10,3 %) und Deponiegas (6,6 %). Die durchschnittliche BHKW-Anlagengröße bei Wirtschaftsunternehmen betrug Ende der 80er Jahre in Baden-Württemberg etwa 350 kW<sub>el</sub> (Klien/Gabler, 1991).

### 3 Pluspunkt No. 2: Verminderung der Energiekosten

Ob sich der energietechnische Vorteil von BHKW auch in einem Vorteil der geringeren Energiekosten eines Anwenders niederschlägt, hängt von vielen Einzelfaktoren ab. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Anwendung der BHKW-Technik sind hohe Vollbenutzungsstunden, d. h. möglichst lange Laufzeiten von mindestens 3000 bis 4000 Jahresnutzungsstunden. Dies ist dann möglich, wenn die Wärmeleistung der BHKW-Anlage im Vergleich zur benötigten Spitzenwärmeleistung im zu versorgenden Objekt relativ klein dimensioniert wird. Aufgrund langjähriger Erfahrungen hat sich ein Wert von 15 – 25 % des maximalen Wärmeleistungsbedarfs des Betriebs als guter Ausgangspunkt für genauere Planungen erwiesen. Die Anwender in den Betrieben sollten bei der Auslegung beachten, dass möglichst wenig Strom ins Netz des Stromlieferanten gespeist wird, da für die ins Netz des Versorgungsunternehmens gelieferte Strommengen i. a. zwischen 6 – 13 Pf/kWh vergütet werden, während die Stromgestehungskosten seitens des eigenen BHKW zwischen 10 und 25 Pf/kWh liegen können (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Beispielhafte Stromgestehungskosten für ein kleines erdgasbetriebenes BHKW auf Basis der Annuitätenrechnung mit unterschiedlichen Erdgaspreisen und Jahresnutzungsstunden (Quelle: IZE, 1994)



Bei hohen Jahresbetriebsstunden und geringen Netzeinspeisungen werden in der Regel Kapitalrückflusszeiten von 5 – 10 Jahren für BHKW erreicht, was bei einer Lebensdauer von 15 bis 17 Jahren einer internen Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 7 bis 18 % entspricht (vgl. Tabelle 4).

### Typische Kenngrößen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die aufzuwendenden Investitionen, die betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten und Erlöse haben je nach Anlagenwert und -größe erhebliche Bandbreiten (vgl. Tabelle 2). Bei kleineren BHKW sind die spezifischen Investitionen und variablen Wartungskosten höher, und das benötigte Personal ist nur in sehr geringem Umfang dem Anlagenbetrieb zuzuordnen. Als Anhaltswert wird daher bei kleineren Anlagen ein Maximalwert für die Personalkosten in Prozent der Investitionskosten angegeben. Regional unterschiedlich gibt es auch die Möglichkeit der Fernüberwachung durch Ingenieur- oder Handwerksunternehmen oder Stadtwerke.

Rechnet man die Rentabilität eines BHKW auf Basis der vermiedenen Strombezugskosten, so müssen für einen wirtschaftlichen BHKW-Anlagenbetrieb die verbleibenden Kosten niedriger als die Wärmegestehungskosten aus dem "Nur-Kesselanlagebetrieb" sein. Die Bewertung der Stromerzeugung muss dabei berücksichtigen, zu welchen Anteilen der im BHKW erzeugte Strom als eigengenutzter Strom zur Substitution von Fremdstrombezug (vermiedener Strombezug) veranschlagt werden kann oder in das Stromnetz eingespeist werden muss. Als Richtwert für die Stromgutschrift können die Konditionen des bestehenden Stromlieferungsvertrages gelten, getrennt nach Nieder- und Hochtarif sowie Sommer- und Winterkonditionen. Sensitivitätsanalysen müssen im einzelnen zeigen, wie sehr die Rentabilität durch höhere Brennstoffpreise oder verminderte Strompreise gefährdet werden kann (Meier, 1994).

Tabelle 2: Typische Kostenbestandteile von BHKW, Erlöse und Rechengrößen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Kostenart, Erlösart Berechnungsparameter	Gasturbinen- BHKW	Verbrennungsmotoren- BHKW
Investitionen DM/kW <sub>el</sub>	1700 – 2300	1800 – 4000 <sup>1)</sup>
Personalbedarf	0,5 – 10	0,1 – 5
Personalkosten in % der Investition pro Jahr	1 – 3	2 – 4
Wartung in % der Investition pro Jahr	1,5 – 3	1,5 – 2,5
variable Wartungskosten Pf/kWh <sub>el</sub>	0,6 – 1	2 – 3
anlegbarer Wärmepreis DM/MWh	50 – 80	60 – 90
verdrängte Strombezugskosten Pf/kWh	12 – 20	14 – 25
Stromeinspeisevergütung Pf/kWh	6 – 13	6 – 13
Nutzungsdauer in Jahren	ca. 15	ca. 15
Kalkulationszins in %	7 – 8	7 – 8

<sup>1)</sup> bei Kleinstanlagen

### Beispiel BHKW mit Verbrennungsmotor

In diesem Berechnungsbeispiel handelt es sich um einen typischen Anwendungsfall eines verbrennungsmotorischen BHKW mit einer hohen Jahresnutzungsdauer von 6000 Stunden bei einem Anteil der Wärmehöchstlast von 22 % in einem Gewerbebetrieb. In einer exemplarischen Wirtschaftlichkeitsrechnung für das BHKW (150 kW<sub>el</sub>/240 kW<sub>th</sub>) ergeben sich folgende Wärmerestkosten, bei denen die Stromgutschrift für zwei Fälle berücksichtigt ist:

- Im Fall der vollständigen Netzeinspeisung liegen sie mit 87 DM/MWh über den Wärmegestehungskosten von etwa 70 DM/MWh einer betriebseigenen reinen Kesselanlage (vgl. Tabelle 3).
- Wenn dagegen der erzeugte Strom vollständig mit den Strombezugskosten bewertet werden kann – also Strombezug vermieden wird, liegen die Wärmerestkosten mit 51 DM/MWh deutlich unter den Wärmeezeugungskosten mit einer reinen Kesselanlage.

Die Differenz zwischen den Wärmerestkosten der BHKW-Anlage und den Wärmekosten einer reinen Kesselanlage lässt sich anhand der gängigen Wirtschaftlichkeitsberechnungsmethoden in die jeweils abgeleiteten Rentabilitätsmaße umrechnen. Diese sind:

- Bei der Amortisationsrechnung die Amortisationszeit, die in diesem Beispiel bei rund 9 Jahren liegt. Ein derartig hoher Jahreswert signalisiert bei vielen Unternehmen bereits Unwirtschaftlichkeit, weil man sie – ungerechtfertigterweise – mit Investitionen im Bereich der Produktionsmaschinen vergleicht, die häufig nur eine Nutzungsdauer von fünf bis sieben Jahren haben.
- Berücksichtigt man dagegen die Lebensdauer der BHKW-Anlagen von mindestens 15 Jahren, so berechnet sich eine interne Verzinsung mit real 10 % bzw. bei einer angenommenen Inflationsrate von 3 % mit nominal 13 %, eine durchaus interessante Rentabilität. An diesem Beispiel zeigt sich sehr deutlich, dass man den Rentabilitätsausgleich von Investitionen mit sehr unterschiedlichen Lebensdauern nicht mit Amortisationszeiten führen darf, weil die Lebensdauer der jeweiligen Investition nicht in die Berechnung mit einfließt, was zu gravierenden Fehleinschätzungen führen kann (vgl. Tabelle 4).
- Die dynamisch rechnende Barwertmethode, die als Rentabilitätsmaß den Kapitalwert berechnet und in diesem Beispiel bei 98,5 TDM liegt.

### Beispiel gasturbinenbetriebenes BHKW

Eine Anlage zur thermischen Behandlung von Metallwerkstoffen oder Ziegeln wird bei Prozesstemperaturen von bis zu 750°C durch öl- und gasgefeuerte Heißgaserzeuger beheizt. In einem solchen Fall ist zu prüfen, ob es nicht wirtschaftlich ist, eine Gasturbine vorzuschalten, deren Abgase durch Kanalbrenner auf die erforderliche Heißgastemperatur erhitzt und dadurch fast vollständig genutzt werden. Im vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine kompakte Klein-Gasturbine mit nur 1 MW<sub>el</sub>, die den Strombezug des Betriebs um 4 GWh je Jahr vermindert. Als Vergleich dient die Heißgaserzeugung mit Gasbrenner und dem bisherigen Strombezug des Betriebs.

Tabelle 3: Daten und Annahmen für eine exemplarische Wirtschaftlichkeitsrechnung für ein BHKW mit Gasmotor

<b>Inputgrößen und Ergebniswerte</b>	<b>numerische Angaben u. Dimension</b>
<b>Technische Ausgangsdaten</b>	
elektrische Leistung des BHKW	150 kW <sub>el</sub>
Wärmeleistung des BHKW	240 kW <sub>th</sub>
Benutzungsdauer des BHKW	6000 Stunden je Jahr
Wärmeleistung des Spitzenkessels	1000 kW <sub>th</sub>
Benutzungsdauer des Spitzenkessels	760 Stunden je Jahr
Wärmehöchstlast	1100 kW <sub>th</sub>
Benutzungsdauer der Wärmehöchstlast	2000 Stunden je Jahr
Stromeigenbedarf	18 MWh je Jahr
<b>Kostensätze und Annahmen</b>	
Investition für BHKW und Spitzenkessel	605 TDM
Annuität (8 %, 15 Jahre)	0,1168
mittlerer Brennstoffpreis	40 DM/MWh <sup>1)</sup>
Wartung und Instandhaltung (fest)	2 % d. Investition p. a.
Wartung und Instandhaltung (variabel)	2 Pf/kWh
Personal- und Verwaltungskosten gesamt	4 % d. Investition p. a.
Nutzungsgrad des BHKW	85 %
Nutzungsgrad des Spitzenkessels	85 %
vermiedene Strombezugskosten im Jahresdurchschnitt	18 Pf/kWh
Stromgutschrift für Einspeisung ins Netz	9 Pf/kWh
Wärmekosten der "Nur-Kesselanlage" zum Vergleich	ca. 70 DM/MWh
<b>Jährliche Kosten des BHKW, insgesamt</b>	
Kapitalkosten	270.840 DM
Brennstoffkosten	70.660 DM
Wartungs-, Instandhaltungs-, Personal- und Verwaltungskosten	145.880 DM
	54.300 DM
<b>Stromerlöse und Wärmerestkosten</b>	
Wert des vermiedenen Strombezuges	158.760 DM
Wärmerestkosten der BHKW-Anlage	112.080 DM
spezifische Wärmerestkosten bei Selbstnutzung des Stromes	51,0 DM/MWh
spezifische Wärmerestkosten bei ausschließlicher Netzeinspeisung (keine Wirtschaftlichkeit)	87,0 D/MWh
<b>Wirtschaftlichkeitsmaße für den Fall vermiedener Strombezug</b>	
statische Amortisationsdauer	8 Jahre
interne Verzinsung	10 % je Jahr
Kapitalwert	98.450 DM
<sup>1)</sup> relativ hoch angenommen gegenüber heutigen Preisen	

Quelle: eigene Berechnungen Suttor 1995

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsrechnungen, die nach dem gleichen Schema wie in Tabelle 3 durchgeführt wurden, zeigten, dass derartige Investitionen rentabel sein können. Auch wenn wegen des spezifisch hohen Investitionsaufwandes für Klein-Gasturbinen bei Anwendung der Amortisationsrechnung die Amortisationsdauer mit sieben Jahren sehr hoch erscheint, so weist die Berücksichtigung der Lebensdauer von 15 Jahren auf eine sehr profitable interne Verzinsung von etwa 20 % hin (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Interne Verzinsung und Amortisationszeiten in Abhängigkeit von der Anlagennutzungsdauer der Investition

geforderte Amortisationszeiten (Jahre)	Interne Verzinsung in % pro Jahr <sup>1)</sup>							
	Anlagennutzungsdauer (Jahre)							
	3	4	5	6	7	10	12	15
2	24%	35%	41%	45%	47%	49%	49,5%	50%
3	0%	13%	20%	25%	27%	31%	32%	33%
4		0%	8%	13%	17%	22%	23%	24%
5			0%	6%	10%	16%	17%	18,5%
6	unrentabel			0%	4%	10,5%	12,5%	14,5%
8						4,5%	7%	9%
<sup>1)</sup> unterstellt wird eine kontinuierliche Energieeinsparung über die gesamte Anlagennutzungsdauer								
abgeschnittene rentable Investitionsmöglichkeiten								

Quelle: DOE, 1982

#### 4 Probleme des Anwenders und ihre Überwindung

Betriebsinterne Hemmnisse, die man insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen und Betrieben mit geringen Energiekostenanteilen am Produktionswert beobachtet, sind mangelnde energietechnische Kenntnisse über BHKW sowie eine Orientierung der Wirtschaftlichkeit von BHKW an Amortisationszeiten statt an Rentabilitätsmaßen, welche die lange Nutzungsdauer von BHKW berücksichtigen. Gründe hierfür sind häufig fehlendes Fachpersonal, traditionelle Entscheidungsmuster und/oder Zeitmangel der Entscheidungsträger. Häufig sind auch die Kenntnisse konsultierter Berater unzureichend, oder die Kapitaldecke für Rationalisierungsinvestitionen ist zu knapp (Meixner, 1995; Nitsch, 1994; Suttor, 1994). In jüngster Zeit bahnt sich hier eine Lösung durch die Bereitschaft von Energieversorgungsunternehmen und spezialisierten Energiedienstleistungsunternehmen an, die Investition und den Betrieb von BHKW als Dienstleister anzubieten (s.u.).

Eine Reihe von Ingenieurbüros hat diese Problematik der potentiellen Anwender erkannt und sich auf die Planung von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung spezialisiert (vgl. Broschüre der VDI-GET, 1994).

Mit öffentlichen Mitteln gefördert werden Anlagen bei kleinen und mittleren Unternehmen über das ERP-Programm (Zinsverbilligung) und die Anfangsberatung. Einige wesentliche Beratungsvermittlungsinstitutionen sind in der Tabelle 5 genannt; und dazu noch ein Hinweis, dass guter Rat nur halb so teuer als gedacht sein kann:

- **Energieeinsparberatungen** werden auch mit öffentlichen Geldern gefördert: Der Zuschuss beträgt 40 % der Beratungskosten; höchstens jedoch 3200,- DM je Beratung und maximal 6400,- DM pro Antragsteller innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren. Die Beratung muss dazu bis zum 31.12.2000 begonnen werden. Rechtlich selbständige Unternehmen aus den Bereichen der gewerblichen Wirtschaft (Umsatzgrenze 30 Mio. DM) und der wirtschaftsnahen Freien Berufe (Umsatzgrenze 2 Mio. DM) können förderungsfähige Beratungen nur von selbständigen Beratern oder Beratungsunternehmen durchführen lassen, die die für den Beratungsauftrag erforderlichen Fähigkeiten besitzen. Näheres erfährt der Leser bei den in der Tabelle genannten Institutionen oder über das Bundesamt für Wirtschaft (BAW; <http://www.bawi.de>), Eschborn. Auf der Internetseite des BAW findet sich auch die detaillierte Förderrichtlinie des Programms (<http://www.bawi.de/downloads/beratri.pdf>).

Tabelle 5: Energieberatungs- und -vermittlungsinstitutionen in Baden-Württemberg (Auswahl; Stand Oktober 1999)

Beratungsstelle	Ansprechpartner	
	Name	Telefon
Landesgewerbeamt Baden-Württemberg Informationszentrum Energie Willi-Bleicher-Str. 19                      70174 Stuttgart	Herr Bouse	0711/123-2522 (Fax -2649)
Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg Griesbachstr. 10                      76185 Karlsruhe	Herr Bunk	0721/98471-13 (Fax -20)
Landesinnungsverband der elektrotechnischen Handwerke Baden-Württemberg Voltastr. 12                      70376 Stuttgart	Herr Mayerl	0711/95590666 (Fax 551875)
VEA – Bundesverband der Energie-Abnehmer e. V. Geschäftsstelle Wiesbaden Kreuzberger Ring 21                      65205 Wiesbaden	Herr Wörsdörfer	0611/9748-428 (Fax -100)
Großabnehmerverband Energie Baden-Württemberg Breitlingstr. 35                      70184 Stuttgart	Herr Rudolf	0711/23725-20 (Fax -99)
RKW Baden-Württemberg, Rationalisierungs- Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e. V. Königstr. 49                      70173 Stuttgart	Herr Kowollik	0711/22998-33 (Fax -10)
Ingenieurkammer Baden-Württemberg Energie- und Umweltberatung Zellerstr. 26                      70180 Stuttgart	Herr Pfau	0711/64971-21 (Fax -55)
Örtliche Energieversorgungsunternehmen		
Industrie- und Handelskammern, örtliche Handwerkskammern		

Für einen finanziellen Anreiz zur Sanierung von Anlagen kommt das **ERP-Energiesparprogramm** in Frage:

- Antragsberechtigt sind Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft mit einem Jahresumsatz bis zu 1 Mrd. DM. Das Vorhaben muss geeignet sein, die Wettbewerbs- und Leistungsfähigkeit des Unternehmens zu steigern. Anträge, die vor Beginn des Vorhabens eingereicht werden müssen, sind auf einem Formblatt über die Hausbank an die Deutsche Ausgleichsbank zu richten. Die Förderung besteht aus einem zinsgünstigen Darlehen (ein jeweils am Markt angepasster Zinssatz von z. B. 5,25 % p.a., Auszahlung: 100 %, Laufzeit: 15 Jahre mit 2 tilgungsfreien Anlaufjahren (Stand. 20.9.1999); aktuelle Konditionen über den Faxabruf der DtA unter 0228/831-3300 oder die WEB-Seite der DtA <http://www.DtA.de>). Die maximale Förderung beträgt 0,5 Mio. EURO pro Vorhaben.

Die Adressen von Herstellern/Lieferanten von BHKW und von Planungsbüros sind über die in Tabelle 5 genannten Institutionen oder die Informationsschrift der VDI-Gesellschaft Energietechnik (1994) verfügbar.

In vielen Fällen wirkt auch die mangelnde Kapitalverfügbarkeit hemmend: Investitionen für die Produktion zur Qualitätssteigerung oder weitere Rationalisierungen sind so vital für das Überleben der Unternehmen, dass Finanzmittel für Investitionen in die Eigenerzeugung von Strom und Wärme häufig nicht bereitgestellt werden können, auch wenn sie rentabel sind. Hinzu kommt die Unsicherheit über die einzuhaltenden Vorschriften und technische Regeln bei der neuen Technik der BHKW.

Contracting-Unternehmen, wie sie im folgenden abschließend kurz erläutert werden, können den Energienutzern die Investition und den Betrieb von BHKW abnehmen, ohne auf den Nutzen dieser Technik verzichten zu müssen. Der Begriff "**Contracting**" umfaßt verschiedene unternehmerische Formen der Finanzierung von Energieinvestitionen sowie deren Betriebsführung. Neben dem Energienutzer (bei BHKW: Nutzer von Wärme und Strom) ist mindestens ein weiterer Vertragspartner am Contracting beteiligt. Dies können sowohl Energieversorgungsunternehmen und Anlagenhersteller als auch Unternehmen sein, deren Geschäftszweck das Contracting selbst ist. Der Energienutzer ist über einen Wärme- und Stromliefervertrag oder weitere Energiedienstleistungen mit dem Contracting-Unternehmen verbunden (Helle, 1994; ASUE, o.J.). Dem Energienutzer bringt das Contracting einer BHKW-Anlage samt Reserve- und Zusatzkessel den Vorteil des Outsourcing seiner konventionellen Wärmeerzeugung mit all ihren betrieblichen Anforderungen und eine Konzentration auf das Kerngeschäft. Der Kern des Contracting ist somit, dass ein Dritter (das Contracting-Unternehmen) eine Energiewandlungsanlage, z. B. ein BHKW, investiert und eventuell auch betreibt, wobei das eingesetzte Kapital durch die Erlöse der erzeugten Energie und die erschlossenen Rationalisierungspotentiale refinanziert wird. Der Betrieb der BHKW und notwendiger Kesselanlagen erfolgt dabei häufig über Fernüberwachung und -wirken. Das Contracting-Unternehmen geht spezielle Risiken ein (das Bonitätsrisiko und Anlagenbeschäftigungsrisiko gegenüber dem Energienutzer, das Energiepreisrisiko für die benötigte Energie und das technische Risiko), die aufgrund der bisherigen Erfahrungen in engen Grenzen gehalten werden können (ASUE, 1994; Niebisch, 1992).

## Literatur

- ASUE: (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch): Wärme macht Kälte- KWK mit Absorptionskälteanlagen. Hamburg 1994
- ASUE: Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasturbinen. ASUE-Schriftenreihe Bd. 13, Hamburg
- ASUE: Contracting in der kommunalen und industriellen Energieversorgung. Hamburg, o.J.
- BINE Projekt Info-Service Nr. 21, Karlsruhe/Bonn, Dezember 1993
- Dienhart, H., Nitsch, J.: Ökologische Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung. et(1995)8, S.500-505
- DLR, ZSW, IBS, IMH Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg. Stuttgart, Juli 1994
- DOE (Department of Energy): Energy Conservation Investment in Industry. Energy Paper No. 50, HMSO, London 1982
- Forum für Zukunftsenergie: Förderfibel Energie. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln 1993
- Helle, Chr.: Contracting-Modelle als innovative Finanzierungs- und Organisationsformen für effiziente Energieinvestitionen. UWF 7(1994)10, S. 43-48
- Hessen-Energie GmbH. Software BHKW-Datenbank, Wiesbaden 1993
- IZE (Informationszentrum der Elektrizitätswirtschaft): Blockheizkraftwerke Strom BASISWISSEN Nr. 122, Frankfurt 1994
- Kaier, U., Hausladen, W.: KWK in Industriebetrieben und die Potentiale einer rationellen Energieverwendung. UWF 7(1994)10, S. 35-40
- Klien, Jobst; Gabler, Wilfried: Dokumentation Blockheizkraftwerke. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1991
- Maier, K.H.: Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie. VIK-Mitteilungen (1994)2, S. 35-40
- Meixner, H.: BHKW kleiner Leistung. Mini-KWK-Anlagen als neues Marktsegment. In hessenEnergie GmbH, Wiesbaden, Februar 1995
- Nitsch, J., Schuler, W.: Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung. BWGZ(1995)13, S. 341-345
- Pischinger, F.: Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen – Zukunftsmärkte der Technik. Brennstoff Wärme Kraft (BWK) 45(1993)11, S. 470-472
- Recknagel, Sprenger, Hönnmann: Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik. Oldenbourg Verlag, München 1990

- Schaefer, Helmut (Hrsg.): Lexikon Energietechnik. VDI-Verlag, Düsseldorf 1994
- Sendner, H., Jochem, E.: Chancen durch Contracting (wird veröffentlicht)
- Suttor, K.-H.; Suttor, W.: Die KWK-Fibel. Zweite Auflage mit PC-Software KWK zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplung. Resch-Media Verlag, Gräfelfing 1993
- Suttor, W. (Hrsg.): Loseblattwerk Praxis Kraft-Wärme-Kopplung mit laufend aktuellen Ergänzungslieferungen. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1994
- VDI-Ges. Energietechnik: Berater und Sachverständige Energietechnik 1994/95. Düsseldorf 1994
- VDI-Ges. Energietechnik: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotorenanlagen. VDI-GET-Informationsschriften Düsseldorf

**Anlage 1: Hersteller/Lieferanten von BHKW als Information an die in Tab. 6 genannten Institutionen (kein Anspruch auf Vollständigkeit)**

AN Maschinenbau und Umweltschutzanlagen GmbH  
Waterbergstr. 11  
28237 Bremen  
Tel: 0421/69 45 80

August Storm GmbH & Co.KG  
August Storm Str. 6  
48480 Spelle  
Tel: 05977/73-0  
Fax: 05977/73 38

Autermann KG  
Haweka  
Südkirchener Str. 11  
59379 Selm  
Tel: 02592/30 91  
Fax: 02592/30 36

Blohm + Voss AG  
Postfach 10 07 20  
20005 Hamburg  
Tel: 040/3 11 90

COMUNA-Metall Vorrichtung- und Maschinenbau GmbH  
Uhlandstr. 17  
32051 Herford  
Tel: 05221/9 15 10

EES – Erdgas Energie Systeme GmbH  
Wolfsbankring 38  
45355 Essen  
Tel: 0201/68 59 90

EnerGenius GmbH  
Dr.-Kurt-Steim-Str. 7  
78713 Schramberg  
Tel: 07422/5 16 46  
Fax: 07422/5 16 12

Energietechnik Stüber  
Koppelweide 1  
51674 Wiehl  
Tel: 02262/9 71 21  
Fax: 02262/9 14 37

energiwerkstatt Gesellschaft für rationelle Energieverwendung mbH  
Limmerstr. 81  
30451 Hannover  
Tel: 0511/2 10 91 23  
Fax: 0511/2 11 09 23

Fichtel & Sachs AG  
Ernst-Sachs-Str. 62  
97424 Schweinfurt  
Tel: 09721/65 12 22

GASPOWER  
Coenergy Systems GmbH  
Wernerstr. 35  
29227 Celle  
Tel: 05141/9 87 10  
Fax: 05141/98 78 77

GFK Profitör  
Gesellschaft für Kraft-Wärme-  
Kopplung mbH  
Industriestr. 20  
28199 Bremen  
Tel: 0421/51 84 02  
Fax: 0421/51 84 81

Haase Energietechnik GmbH  
Gadelanderstr. 172  
24539 Neumünster  
Tel: 04321/87 80

HÖFLER Blockheizkraftwerke GmbH  
Ladestr. 26  
88131 Lindau/Bodensee  
Tel: 08382/2 50 57  
Fax: 08382/2 37 73

Jenbacher Energiesysteme GmbH  
Ölhafenstr. 28  
68169 Mannheim  
Tel: 0621/77 09 40

Köhler & Ziegler GmbH  
Anlagentechnik  
Postfach 11 33  
35457 Lollar  
Tel: 06406/9 10 30  
Fax: 06406/91 03 30

Kramb Mothermik GmbH&Co. KG  
Altes Bahnbetriebswerk  
55469 Simmern  
Tel: 06761/9 40 00

Kuntschar + Schlüter GmbH  
Berghofstr. 11  
34466 Wolfhagen. Ippinghausen  
Tel: 05692/41 42

MAN Dezentrale Energiesysteme  
Stadtbachstr. 1  
86153 Augsburg  
Tel: 0821/50 37 03

Maschinenbau Halberstadt GmbH  
Rudolf-Diesel-Str. 50  
38820 Halberstadt  
Tel: 03941/3 20  
Fax: 03941/3 25 43

MWM Diesel und Gastechnik GmbH  
Carl-Benz-Str. 5  
68167 Mannheim  
Tel: 0621/84 10 20

SOKRATHERM GmbH  
Milchstr. 12  
32120 Hiddenhausen  
Tel: 05221/9 62 10

Viesel Apparatebau GmbH  
Seilerweg 20  
72574 Bad Urach  
Tel: 07125/82 09

Zantingh GmbH  
Eldenaer Str. 35  
10247 Berlin  
Tel: 030/9 23 50 13

Zeppelin Baumaschinen GmbH  
Zeppelinstr. 2  
28832 Achim bei Bremen  
Tel: 04202/91460

**Anlage 2: Berater und Sachverständige in Baden-Württemberg, die nach VDI-GET als Hauptarbeitsfeld die Kraft-Wärme-Kopplung angegeben haben (als Information für die in Tabelle 6 genannten Institutionen/kein Anspruch auf Vollständigkeit)**

1 Name	HOERNER	KAIER	HEINRICH
2 Vorname	Gerhard	Ulrich	Peter
3 Titel/Akad. Grad	Dr.-Ing.	Dr.-Ing.	Dipl.-Ing.
4 Firma/Institut		Energieconsulting HD	Fichtner Development Engineering
5 Anschrift	Im Loehr 49 68199 Mannheim	Im Breitspiel 7 69126 Heidelberg	Postfach 10 14 39 70013 Stuttgart
6 Telefon-Nr.	(0621) 81 32 52	(06221) 94 01	(0711) 1 35 88-0
7 Telefax-Nr.	(0621) 82 11 99	(06221) 94 24 16	(0711) 8 17 96 07

1 Name	WELTE	CLAUS	MEGAHED	SCHLUMBERGER	BETZ
2 Vorname	Gerhard	Gunther	Mustafa	Horst	Robert
3 Titel/Akad. Grad	Ing.	Dipl.-Ing.	Dr.-Ing.	Dipl.-Ing.	Dipl.-Ing./WirtIng.(FH)
4 Firma/Institut	Beratender Ing. Planungsbüro	Forschungsge. HLK Stuttgart mbH	IKOSS-CSS GmbH	EPROPLAN GmbH Energie-Prozestechn.	Scholze Ing. Ges. mbH
5 Anschrift	Burgenlandstr. 111 70469 Stuttgart	Pfaffenwaldring 6a 70550 Stuttgart	Waldburgstr. 21 70563 Stuttgart	Schöttlestr. 34a 70597 Stuttgart	Gutenbergstr. 18 70771 Leinfelden-Echl.
6 Telefon-Nr.	(0711) 81 75 92	(0711) 6 85 20 90	(0711) 73 77 00	(0711) 7 69 88-0	(0711) 94 71-224
7 Telefax-Nr.	(0711) 85 17 57	(0711) 6 87 60 56		(0711) 7 69 88-51	(0711) 94 71-133 + 331

1 Name	BÖHM	AAMOT	HANSEN
2 Vorname	Karl	Haldor	Christoph
3 Titel/Akad. Grad	Dipl.-Ing.	Dr., Dipl.-Ing.	Dipl.-Ing. (FH)
4 Firma/Institut	TUV Sudwest e.V.	Beratender Ingenieur	Ingenieurbüro f. rationale Energietechnik
5 Anschrift	Postfach 13 80 70774 Filderstadt	Bahnhofstr. 39 71701 Schwieberdingen	Enge Gasse 19/1 71706 Unterriexingen
6 Telefon-Nr.	(0711) 7 70 64 67	(07150) 3 35 97	(07147) 1 29 37
7 Telefax-Nr.	(0711) 7 70 65 56	(07150) 3 47 46	(07147) 1 29 37

1 Name	MERKLER	KNOPF	BÜHLER
2 Vorname	Werner	Volker	Karl
3 Titel/Akad. Grad	Ing.	Dipl.-Ing. (FH)	Prof. Dr.-Ing. habil.
4 Firma/Institut	Ing. Büro	ENOPLAN Ing.Ges. f. Energie-u.Umwelttech.	FH Offenburg FB Maschinenbau
5 Anschrift	Franz-Allgauer-Str. 33 76287 Rheinstetten	W. v. Siemensstr. 47 76646 Bruchsal	Budstr. 24 77652 Offenburg
6 Telefon-Nr.	(07242) 60 31/32	(07251) 71 61 20	(0781) 205-245
7 Telefax-Nr.	(07242) 78 81	(07251) 71 61 39	(0781) 205-333

1 Name	SCHNEIDER	SEGER	SONDER	SCHWARZOTT
2 Vorname	Heinz	Friedhelm	Georg	Walter
3 Titel/Akad. Grad	Dipl.-Ing.	Dipl.-Ing.	Dipl.-Phys./-Ing. (FH)	Dipl.-Ing.
4 Firma/Institut	SCHNEIDER Beratende Ingenieure	Ing.Büro f. rationellen Energieeinsatz	Georg Sander	
5 Anschrift	Postfach 11 34 78731 Aichhalden	Am Sonnenrain 80 79539 Lorrach	Äuble-Str. 13 72336 Balingen	Theotramstr. 43 88048 Friedrichshafen
6 Telefon-Nr.	(07422) 5 33 55	(07621) 4 42 48	(07433) 1 52 69	(07544) 21 94
7 Telefax-Nr.	(07422) 5 33 64	(07621) 4 42 48	(07433) 1 52 69	