

## Mini-Blockheizkraftwerke



**Abb. 1:** Die kleine, kompakte und anschlussfertig lieferbare Heiz-Kraft-Anlage erzeugt Wärme und Strom gleichzeitig. Aggregat mit und ohne Gehäuse (Foto: Fichtel & Sachs GmbH, Schweinfurt)

Mit kleinen Blockheizkraftwerken kann das Anwendungspotential der dezentralen, gekoppelten Strom- und Wärme-Versorgung beträchtlich erweitert werden: In weiten Bereichen wird die Kraft-Wärme-Kopplung nicht eingesetzt, da hierzu entweder der Wärmegrundlastbedarf in den einzelnen Objekten zu gering oder Nah- bzw. Fernwärmenetze für die Wärmeverteilung zu aufwendig sind. Denn aus energieökonomischen Gründen ist bei Blockheizkraftwerken eine wärmegeführte Betriebsweise zwingend, aus Kostengründen lohnen sich vor allem Anwendungen mit einem möglichst kontinuierlichen Wärmebedarf. Für kleine, energieeffiziente und kostengünstige Blockheizkraftwerke mit hoher Stromkennzahl (Verhältnis von Strom- zur Wärmeproduktion) erhöhen sich die Chancen auf eine wirtschaftliche Anwendung.

Mini-Blockheizkraftwerke können in Gewerbebetrieben, Hotels, Krankenhäusern, öffentlichen Gebäuden und größeren Wohngebäuden in der Wärmeversorgung die Grund- und gegebenenfalls auch die Mittellast übernehmen. Sie werden - einzeln oder in mehrmodulweise - direkt an die objekt-eigenen Wärmeverteilungsnetze angeschlossen und arbeiten parallel zu konventionellen Heizungsanlagen. Der erzeugte Strom wird im Objekt genutzt oder ins öffentliche Elektrizitätsnetz eingespeist.

Die Fichtel&Sachs AG arbeitet seit 1987 an kleinen Heiz-Kraft-Anlagen, die mit Gas- oder Dieselmotoren 5,5kW Strom und 11 bis 12,5kW Wärme erzeugen. Es entstanden seriennah konzipierte, kompakte und anschlussfertige Aggregate. Sie zeichnen sich durch einen in dieser Leistungsgröße hohen energetischen Gesamtnutzungsgrad, lange Lebensdauer und große Wartungsintervalle, durch Geräuscharmheit und einfache Montagetechnik aus. Inzwischen werden diese Mini-Blockheizkraftwerke - auch mit Beteiligung vieler örtlicher bzw. regionaler Energieversorgungsunternehmen - in insgesamt mehr als 80 Pilotanlagen erprobt. In den Bundesländern Schleswig-Holstein, Bayern, Hessen und Hamburg werden in mehrjährig angelegten Feldtests Eignung und Einsatzbedingungen dieser Aggregate für verschiedene mögliche Anwendungsbereiche erprobt. Neben dem eigentlichen Aggregat werden im folgenden erste Untersuchungsergebnisse des bislang ausführlichsten Tests in Schleswig-Holstein vorgestellt.

## Technische Daten (Zielwerte)

	Feldtest in Schleswig-Holstein	Serie
<b>Motor</b>	heizungswasser-gekühlter 1-Zylinder-Viertakt-Hubkolbenmotor, 583 cm <sup>3</sup> , erwartete Lebensdauer 40.000 h	
<b>Wartungszyklen</b>	1.500 h	3.000 h
<b>Brennstoff</b>	Otto-Motor: Erdgas H und L Diesel-Motor: - -	
<b>Generator</b>	spezieller, heizungswassergekühlter Asynchron-Generator, 91 % Wirkungsgrad bei max. 70 °C Heizungswasser-Rücklauftemperatur, $\cos \varphi = 0,87 - 0,89$ bei 400 V und 50 Hz (ohne Blindleistungskompensationseinrichtung)	
<b>Leistung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ elektrisch: 5,0 kW</li> <li>■ thermisch: 13,5 kW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ elektrisch: 5,5 kW</li> <li>■ thermisch: 12,5 kW (Erdgas) 11,0 kW (Heizöl)</li> </ul>
<b>Gesamtwirkungsgrad <math>\eta</math></b>	84 - 90 %	87 - 90 %
$\eta_{el}$	ca. 23 %	
$\eta_{th}$	ca. 62 %	
<b>Stromkennzahl S</b>	0,37	0,44 (Erdgas)
<b>Regelung</b>	Mikroprozessor-Regelung für alle Steuer, Regel- und Sicherheitsfunktionen, integrierte Betriebsdatenerfassung mit Serviceinformationen	
<b>Abgas</b>	heizungswassergekühlter Abgas-Wärmetauscher, Abgasführung in den vorhandenen Hausschornstein, drucklose Einführung, parallele Belegung HKA und Kessel möglich	
<b>Abgasreinigung</b>	Magermotor ( $\lambda = 1,6 - 1,7$ ), Oxidationskatalysator zur Reduktion von CO und H <sub>m</sub> C <sub>n</sub> , Rußfilter (nur bei Diesel-Motor in der Serienproduktion)	
<b>Geräusch</b>	52 dB(A) in 1 m Abstand	
<b>Maße</b>	Breite: 720 mm Tiefe: 1.060 mm Höhe: 1.000 mm	
<b>Gewicht</b>	510 kg (komplett)	
<b>Aufstellort</b>	Heizraum oder besonderer Raum nach FeuVO	

## Technik

### Aggregat

Der 1-Zylinder-Viertakt-Hubkolben-Motor wurde für hohe Lebensdauer und wartungsarmen Betrieb ausgelegt und treibt im stationären Betrieb mit 2.450 U/min<sup>-1</sup> über ein verschleißoptimiertes Zahnradpaar den wassergekühlten Asynchrongenerator an. Der Generator liefert bei etwas mehr als 3.000 min<sup>-1</sup> Rotorumdrehungen und der Netzfrequenz 50 Hz dreiphasigen Wechselstrom mit einer elektrischen Wirkleistung von 5,5 kW. Eine Blindleistungskompensation war nicht erforderlich. Das rücklaufende Heizungswasser durchströmt Generator (Kühlmantel) und Motor (Motorblock, Zylinderkopf, Schmieröl- und zuletzt Abgaswärmetauscher) direkt, so daß auf externe Wärmetauscher verzichtet werden kann. Die Anlage ist schallgeköpelt.

Die Heiz-Kraft-Anlage wird an das Niederspannungsnetz angeschlossen und netzgeführt betrieben. Die Regelungseinheit kann die gesamte elektrische und heizungstechnische Steuerung und Regelung der Anlage, der Kesselanlage und des Wärmeverteilungsnetzes übernehmen. Die Regelungstechnik nimmt auch vielfältige Sicherheitsfunktionen wahr, so werden z.B. die erzeugte Spannung, Frequenz und Schlupf, Rückleistung bzw. Rückstrom, die Gasflußfreigabe, Startzeit und Startwiederholung überwacht. Außerdem dient sie der automatischen Meßdatenerfassung bzw. -verarbeitung und fungiert als Diagnose- und Informationssystem.

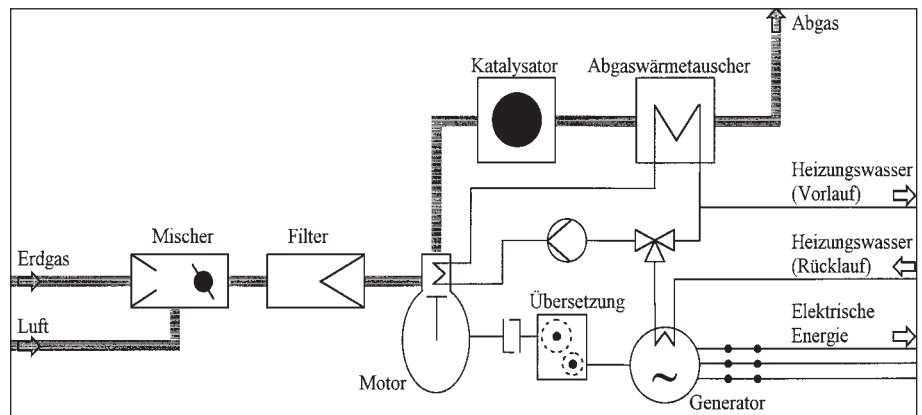


Abb. 2: Schema des Mini-BHKWs von Fichtel & Sachs

### Emissionsminderung

Blockheizkraftwerke mit einer thermischen Leistung kleiner als 1 MW sind nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz nicht genehmigungspflichtig und unterliegen nicht den Emissionsgrenzwerten der TA Luft. Allerdings achtet man heute schon auf die Unterschreitung dieser Grenzwerte, da mit der zunehmenden Verbreitung von Blockheizkraftwerken kleiner Leistung auch hierfür mit deutlichen Emissionsrestriktionen (vergleichbar mit denjenigen für Kesselanlagen) zu rechnen ist. Schon jetzt gibt es die Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz, worin Emissionsgrenzwerte für Stickoxide und Staub formuliert sind.

Bei der Emissionsminderung unterscheidet man Primärmaßnahmen (Maßnahmen an Motorkonstruktion und -betriebsweise) und Sekundärmaßnahmen (Abgasnachbehandlung). Die Emissionsminderung der vorgestellten Heiz-Kraft-Anlage basiert bei beiden Motortypen (Otto- und Diesel-Motor) zunächst auf einer Optimierung der Brennraumgeometrie und einer stabilen, abgemagerten Gemischbildung (Luftüberschuß,  $\lambda = 1,6 - 1,7$ ).

**Gas-Motor:** Aufgrund des Magermotor-Konzepts reicht ein einfacher Oxidations-Katalysator zur Abgasnachbehandlung aus - unter Sauerstoffüberschuß werden CO und H<sub>m</sub>C<sub>n</sub> zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O reduziert. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind wegen des Luftüberschusses relativ gering.

**Diesel-Motor:** Die Abgasnachbehandlung besteht aus Rußfilter, Abgasrückführung mit Abgaskühlung und Oxidations-Katalysator. Die Arbeiten zur NO<sub>x</sub>-Reduktion beim Diesel-Motor haben gezeigt, daß derzeit keine NO<sub>x</sub>-Emissionen unter 400 mg pro m<sup>3</sup> erreichbar sind, wenn nicht gleichzeitig die den konkurrierenden Heiztechniken vergleichbaren Ruß-, Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen deutlich überschritten werden sollen - dies gilt bei dem derzeitigen Schwefelgehalt im Heizöl von bis zu 0,2% und für heute verfügbare Filter-, Regenerations- und Katalysatortechniken, falls auf die aufwendige selektive katalytische Reduktion mit dem sog. SCR-Verfahren (Ammoniak als Reduktionsmittel) verzichtet wird.

## Feldtest: Ziele, Verlauf und erste Ergebnisse

In Schleswig-Holstein mit seiner aufgelockerten Siedlungsstruktur wurden in 18 unterschiedlichen Gebäuden 20 Mini-Blockheizkraftwerke der Fichtel&Sachs AG installiert. Es kamen ausschließlich Gasmotor-Aggregate zum Einsatz. Innerhalb der 36 Monate Laufzeit wurden die Anlagen einem detaillierten Meßprogramm unterzogen; sie wurden mit größeren BHKW und der getrennten Strom- und Wärmeerzeugung verglichen. Von dem Demonstrationsvorhaben wurden auch - im Hinblick auf eine breite Markteinführung - Hinweise erwartet zur rationellen, kostengünstigen Installation und Wartung durch Handwerksbetriebe sowie zu möglichen Formen der Zusammenarbeit mit den Energieversorgungsunternehmen.

### Objekte

Ab März '92 wurden 32 mögliche Einsatzorte auf ihre Eignung hin untersucht. Die 18 günstigsten Objekte wurden nach einer Kriterienliste ausgewählt (Wärmebedarf; zu untersuchender, typischer Einsatzbereich; geeigneter Aufstellungsraum; Transportwege; Kaminanschluß; Belüftung; Zustand der vorhandenen Heizungsanlage; voraussichtliche Betriebsstunden; ...). Für 2 Objekte wurde ein Betrieb mit je 2 Modulen vorgesehen.

### Installation

Die Abgase können direkt über den vorhandenen Hausschornstein - freier Kaminabzug oder gegebenenfalls Doppelbelegung - abgeführt werden.

Nach einem auf die besonderen Belange von Mini-BHKW zugeschnittenen Ausschreibungsverfahren wurden geeignete Heizungsbauunternehmen mit der kompletten Installation (Gewerke: Heizung, Kamin, Elektro) beauftragt. Die Firmen wurden vorab einem mehrphasigen Schulungsprogramm der Fichtel&Sachs AG unterzogen. Trotzdem kam es zu einigen Installationsproblemen; es zeigte sich, daß gewöhnliche Handwerksunternehmen für die komplette, rationelle und ordnungsgemäße Montage dieser Anlagen nicht ohne weiteres geeignet sind.

### Betrieb

**Energieerzeugung:** Im Durchschnitt wurden die Aggregate 5.888 Stunden pro Jahr betrieben. Die mittleren Laufzeiten je Start lagen zwischen 0,64 und 14,5 Stunden. Die teilweise unerwartet kurzen Laufzeiten sind großenteils auf zu hohe Rücklauftemperaturen, zu geringe Durchflußraten im Wärmeverteilsystem oder auf eine (aufgrund von Schaltvorgängen im Wärmeverteilsystem kurzfristig) eingeschränkte Wärmeabnahme zurückzuführen; bei einigen Objekten war die Ursache nicht eindeutig herauszufinden. Es wurden einige Modifikationen an Aggregat und Regelungssoftware vorgenommen, um zu frühes Ausschalten bzw. zu spätes Wiedereinschalten des BHKW zu vermeiden.

**Störungen:** In den 27 Monaten seit Inbetriebnahme kam es insgesamt zu 77 Störungen, wobei deren Häufigkeit ständig abnahm; die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Störungen stieg von anfangs 2.641 auf zuletzt 8.466 Stunden. Die meisten Störungen (z.B. undichte Auslaßventile, defekte Zündkerzen, Luft im Kühlwasser, Rückleistung, Rückleistungsüberwachung, ...) konnten relativ einfach behoben werden, und es wurden auch hier Modifikationen vorgenommen, so daß eine weitere Abnahme der Störungshäufigkeit zu erwarten ist.

**Wartung:** Es gibt eine reguläre Wartung alle 3.000 Betriebsstunden und eine Zwischenwartung alle 1.500 h, da die Zündkerze gewechselt werden mußte. Derzeit wird eine neue, haltbarere Kerze getestet, welche die Zwischenwartung überflüssig machen könnte.

Die Wartungsarbeiten werden teilweise vom Personal vor Ort selber durchgeführt.

**Emissionsbilanz:** Die Schadstoffemissionen der Mini-BHKW sind in Abb.6 dargestellt. Primäre Aufgabe dieser Aggregate ist die Erzeugung von Wärme. Strom entsteht als erwünschtes Nebenprodukt, der BHKW-Strom braucht nicht mehr von entsprechenden Kraftwerken bereitgestellt werden - die erzeugte Wärme erhält deshalb für die anteilig vermiedenen Emissionen eine „Stromgutschrift“. Werden die Emissionen mit GEMIS (Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme) bewertet und das Stromgutschriftverfahren auf Basis des bundesdeutschen Kraftwerksmixes angewandt, ergibt sich folgende Bilanz: Im Vergleich mit einer Wärmeerzeugung per durchschnittlichem Gasheizkessel konnten mit dem Mini-BHKW 48% Primärenergie eingespart und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 44% verringert werden - die NO<sub>x</sub>-Emissionen liegen geringfügig über denjenigen der Vergleichsvariante während die SO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich reduziert werden.

### Objekte im Feldtest

Nr.	Gebäudetyp	Installierte Kesselleistung
1)	EFH	29 kW
2)	Mehrfamilienhaus	86 kW
3)	Mehrfamilienhaus	106 kW
4)	Wohnhaus mit Büros	95 kW
5)	Mehrfamilienhaus	209 kW
6)	Schule	350 kW
7)	Rathaus	173 kW
8)	Museum	145 kW
9)	Wasserwerk	220 kW
10)	Behindertenwerkstatt	522 kW
11)	Verwaltungsgebäude	400 kW
12)	Fabrikationshalle	174 kW
13)	Altenwohnheim	148 kW
14)	Pflegeheim	64 kW
15)	Altenwohnheim	166 kW
16)	Hotel	72 kW
17)	Hallenbad (2 Module)	505 kW
18)	Heizwerk (2 Module)	9.500 kW

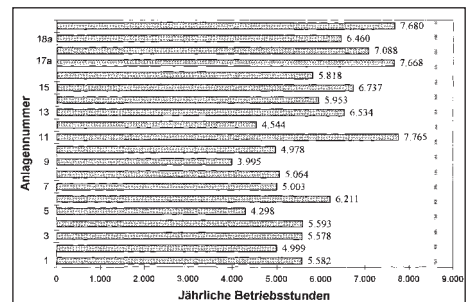


Abb.3: Jährliche Betriebsstunden der Anlagen im Feldtest

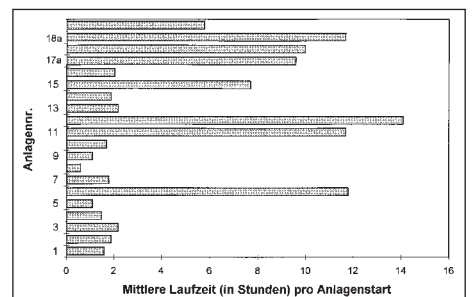


Abb. 4: Mittlere Taktlänge der Anlagen im Feldtest

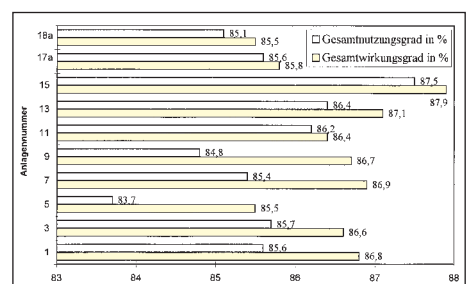


Abb. 5: Mittlerer Gesamtnutzungsgrad und Gesamtwirkungsgrad für ausgewählte Anlagen im Feldtest

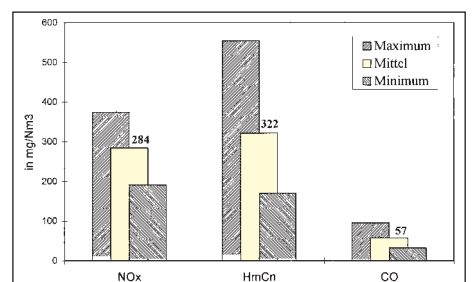


Abb. 6: Mittlere NO<sub>x</sub>-, CO- und H<sub>7</sub>C<sub>1</sub>-Emissionen der Anlagen im Feldtest

## Erweitertes Meßprogramm

Die Energieagentur Schleswig-Holstein führt ab Frühjahr '95 über einen Zeitraum von weiteren 2-3 Jahren an 10 ausgewählten Objekten ein erweitertes Meßprogramm durch, um kontinuierlich zusätzliche Meßdaten zu Heizkessel, Strombedarf des zu versorgenden Objekts und zu den Witterungsverhältnissen auswerten zu können. Damit sollen detaillierte Kriterien zur optimierten Auslegung und Betriebsführung von Mini-BHKW entwickelt werden.

## Wirtschaftlichkeit

Aufgrund des vergleichsweise niedrigen elektrischen Wirkungsgrades dieser Aggregate wird die Wirtschaftlichkeit stark von den anlegbaren Wärmekosten beeinflusst. Die Anlagen sollten ausschließlich wärmegeführt, vorrangig in der Grundlastversorgung und möglichst bei gleichzeitiger Stromverwendung im Objekt eingesetzt werden. Den BHKW-Kosten (Kapital, Energie, Wartung) stehen verringerte Fremdbezugskosten für Elektrizität gegenüber. Diese (finanzielle) Stromgutschrift hängt ab von den Konditionen des Elektrizitätsversorgungsunternehmens und von der Strombedarfscharakteristik des Verbrauchers. Sie ergibt sich - bei gegebener Erzeugungs- und Bedarfscharakteristik - aus der Differenz von bisherigen Fremdbezugskosten und den zukünftigen Kosten für den Bezug von Zusatzstrom (einschließlich der Kosten für die Reserveleistung) und zuzüglich der Einspeisevergütung für überschüssigen eigenerzeugten Strom.

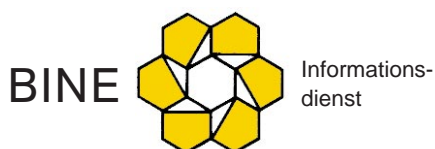
## Fazit

Nach mehr als 2-jähriger Projektlaufzeit konnten viele Ziele des Feldtests (technische und organisatorische) erreicht werden. Die Heiz-Kraft-Anlagen arbeiteten über 2 1/2 Jahre sehr zuverlässig. Als Ergänzung zu den traditionellen Formen der Wärmeerzeugung können sie ohne erheblichen baulichen, hydraulischen oder abgasseitigen Aufwand mit diesen kombiniert werden und zur Energieeinsparung und Emissionsminderung beitragen. Allerdings zeichnet sich auch bei der konkurrierenden getrennten Strom-/Wärmeerzeugung in modernen Kraftwerken und Wärmeerzeugern ein Effizienzsteigerungs- und Emissionsminderungspotential ab.

Im Hinblick auf eine breite Markteinführung kommt der rationellen und sorgfältigen Planung, Installation sowie Wartung der Heiz-Kraft-Anlagen eine besondere Bedeutung zu: Für das beteiligte Handwerk, das sich damit neue Aufgabenfelder erschließen könnte, sind neue Konzepte für Ausbildung und Schulung notwendig und für eine rationelle Planung wären genaue, detaillierte Auslegungsprogramme hilfreich, die auch ökonomische und ökologische Fragestellungen bearbeiten können.

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

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

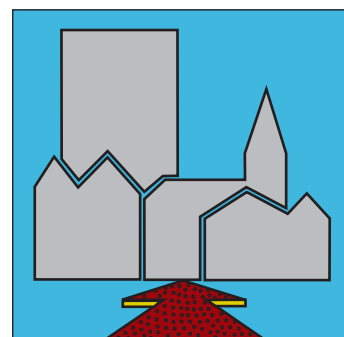
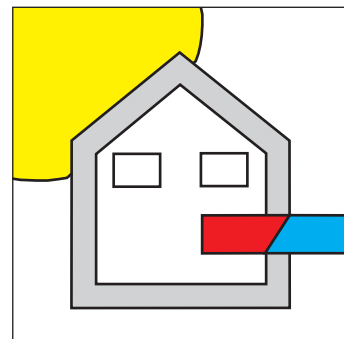


Mechenstraße 57 ■ Tel. 0228/232086  
53129 Bonn ■ Fax 0228/232089

Redaktion: Dipl.-Ing. Johannes Lang

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

Nachdruck des Textes mit Quellenangaben und gegen Zusendung eines Belegexemplares zulässig. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten. Alle Abbildungen und Fotos sind - soweit nichts anderes vermerkt ist - von den Projektnehmern zur Verfügung gestellt worden



## Projektorganisation

**Förderkennzeichen:**  
0328863 A

**Förderung des Vorhabens:**  
Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)  
Heinemannstr. 2, 53175 Bonn

**Projektabwicklung im Auftrag des BMBF:**  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Projektträger Biologie, Energie, Ökologie (BEO)  
Herr Wolfgang Schaefer  
Postfach 1913, 52425 Jülich

**Projektdurchführung**  
Fichtel & Sachs AG  
Bereich Energietechnik  
Herr W. Paulick  
Ernst-Sachs-Str. 62  
97419 Schweinfurt

**Organisation der Feldtests:**  
**Schleswig-Holstein:**  
Ministerium für Finanzen und Energie und Investitionsbank, Energieagentur; Kiel  
**Bayern:**

Zweckverband für regionale Entwicklung und Energie; Regensburg

**Hessen:**  
hessenEnergie GmbH; Wiesbaden  
**Hamburg:**  
Hamburgische Electricitätswerke AG und Hamburgische Gaswerke GmbH