

## Betriebserfahrungen mit Klein-Blockheizkraftwerken

von Dipl.-Ing. Mathias Linder  
 Leiter der Abteilung Energiemanagement im Hochbauamt der Stadt Frankfurt a.M.

### 1. Ausgangslage und Zusammenfassung

Im Jahr 1990 hat sich die Stadt Frankfurt a.M. durch ihren Beitritt zum „Klima-Bündnis der Europäischen Städte mit den Völkern Amazoniens“ als erste Stadt zu einer Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2010 bekannt.

In der Folge wurden zahlreiche städtische Liegenschaften auf ihre Eignung für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) hin untersucht. Gleichzeitig wurden durch die Einführung einer festen Einspeisevergütung für KWK-Strom in Höhe von 75 % der Durchschnittserlöses bei den Stadtwerken Frankfurt (heute Mainova AG) günstige und vor allem kalkulierbare Rahmenbedingungen für den Einsatz von Blockheizkraftwerken (BHKW) geschaffen.

Neben den größeren BHKW (z.B. im Sport- und Freizeitzentrum Kalbach, im Palmengarten, im Hallenbad Bergen-Enkheim und im Rebstockbad) wurden eine Reihe von Klein-BHKW mit Modulgrößen zwischen 5 und 50 kW in den städtischen Liegenschaften errichtet.

Die wichtigsten Daten sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Name der Liegenschaft	Anzahl Module	Gesamtleistung elektrisch (kW)	Gesamtleistung thermisch (kWth)	Gesamt-Investition (TDM)	Förderung (TDM)	Eigeninvestition (TDM)	Inbetriebnahme	Benutzungsstunden kumuliert (h)	Stromerzeugung BHKW kumuliert (MWh)	Wärmeerzeugung BHKW kumuliert (MWh)	CO <sub>2</sub> -Einsparung kumuliert (to)	Überschuß kumuliert (TDM)
Carl-Schurz-Schule	2	107	205	479	107	372	Okt 92	50.652	5.420	10.191	2.483	204
Dahlmann-Schule	1	56	106	289	65	224	Okt 92	48.882	2.737	5.201	1.023	44
Wöhler-Schule	2	107	205	476	107	369	Okt 92	52.242	5.590	10.298	2.435	256
Feuerwache 6	1	6	13	30	11	19	Feb 94	37.556	207	477	91	11
Kinderkrippe Bornheim	1	6	13	30	11	19	Feb 94	59.701	328	648	103	17
Ludwig-Richter-Schule	1	6	13	30	11	19	Feb 94	47.098	254	550	100	18
Sozialstation Eschersheim	1	6	13	30	11	19	Feb 94	51.372	283	606	106	18
Helmholtz-Schule	1	6	13	30	30	0	Nov 98	23.650	130	296	56	
Linné-Schule	1	6	13	30	5	25	Aug 00	11.627	66	143	28	4
Umweltamt	1	5	12	30	5	25	Aug 00	8.794	46	106	21	1
Carl-von-Weinberg-Schule	1	30	50	170	33	137	Okt 00	5.522	164	276	63	-18
Friedrich-Ebert-Schule	1	30	50	170	33	137	Okt 00	4.973	144	246	54	-19
Berthold-Otto-Schule	2	60	100	330	56	274	Okt 00	332	19	33	7	-46
Heinrich-Kraft-Schule	1	30	50	170	33	137	Okt 00	994	29	50	11	-20
Hallenbad Fechenheim	1	14	32	65	40	25	Nov 00	9.464	138	303	61	4
<b>Summe</b>	<b>18</b>	<b>472</b>	<b>888</b>	<b>2.359</b>	<b>559</b>	<b>1.801</b>		<b>412.858</b>	<b>15.554</b>	<b>29.422</b>	<b>6.642</b>	<b>474</b>

**Tabelle 1: Kenngrößen der Klein-BHKW der Stadt Frankfurt a.M.**

Bis zum Ende des Jahres 2001 waren insgesamt 18 Module in 15 Liegenschaften mit einer Gesamtleistung von 472 kW elektrisch und 888 kW thermisch in Betrieb. Die Gesamtinvestitionen hierfür (incl. Planung) lagen bei ca. 2,4 Mio. DM (brutto). Da die Stadt Zuschüsse in Höhe von 559 TDM erhielt, musste sie jedoch nur 1,8 Mio. DM aus eigenen Mitteln aufbringen.

Bis zum Ende des Jahres 2001 haben die Anlagen 15 GWh Strom und 29 GWh Wärme erzeugt. Daraus resultiert eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von über 6.600 to. Gleichzeitig konnte in den Anlagen ein finanzieller Überschuss von insgesamt 474 TDM erwirtschaftet werden.

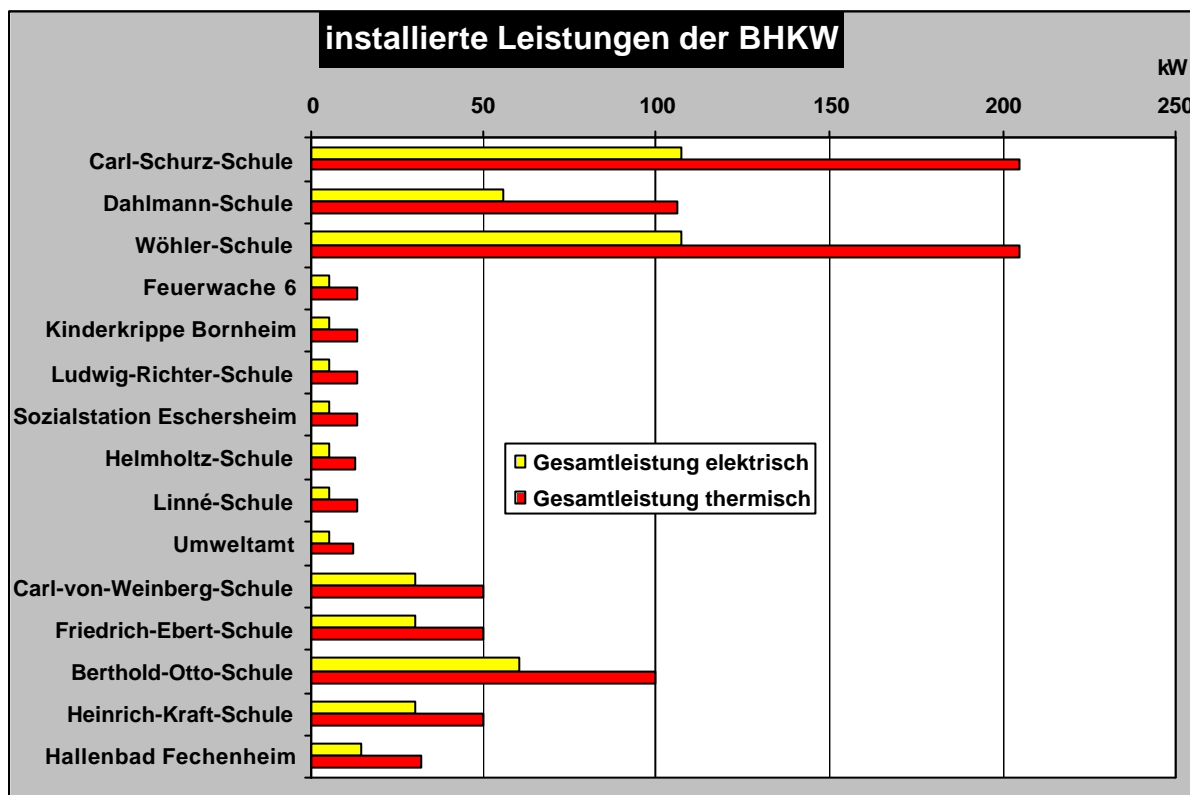


Abbildung 1: Aufteilung der installierten Leistungen

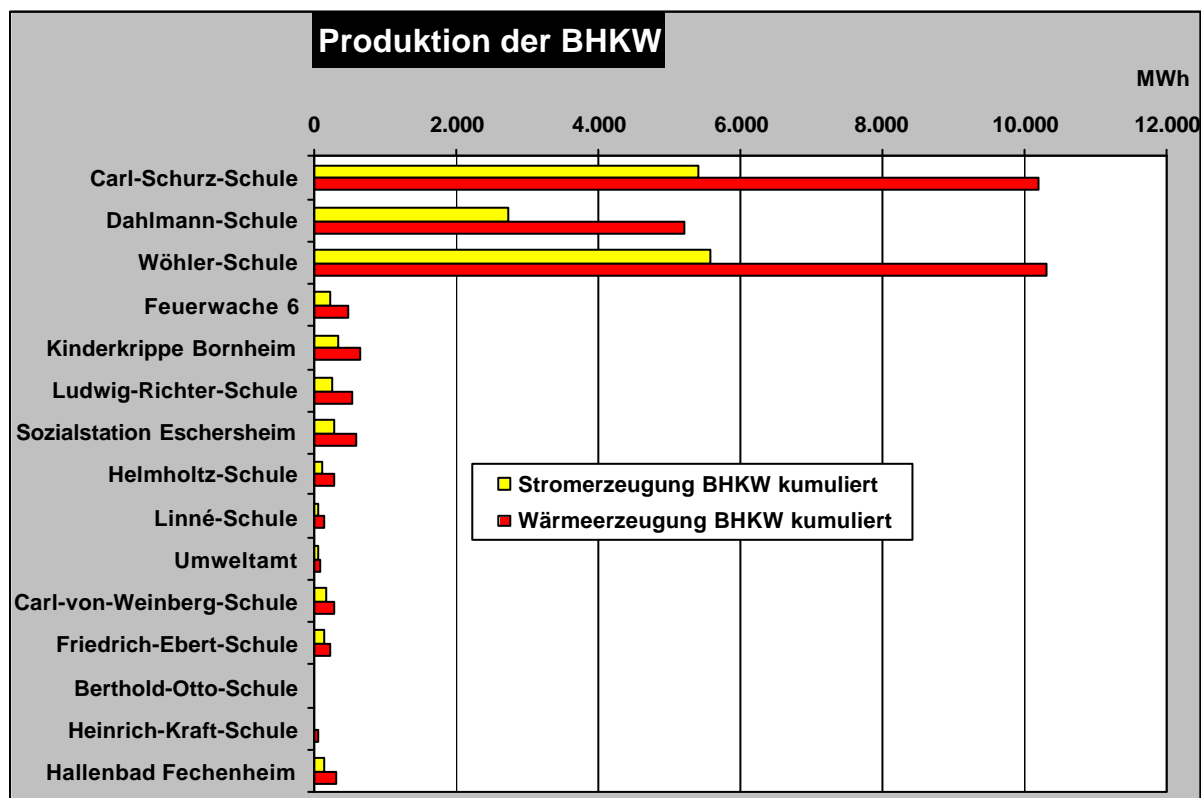
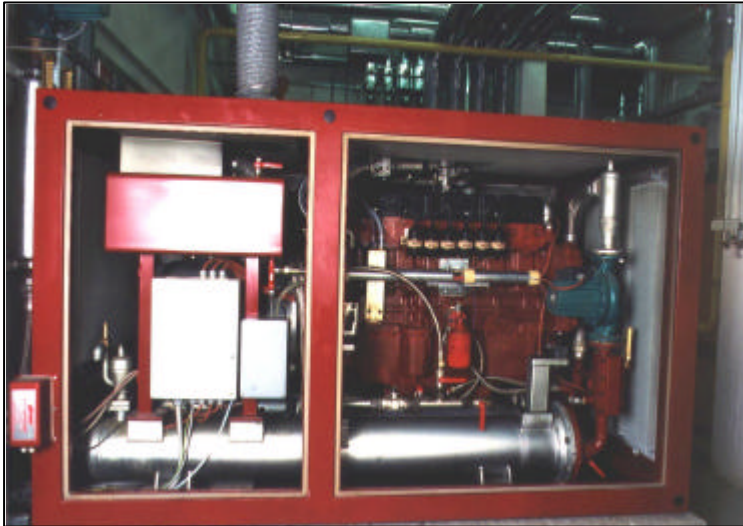


Abbildung 2: Produktion der Klein-BHKW

## 2. Erfahrungen mit 50 kW<sub>el</sub>-Modulen in Schulen

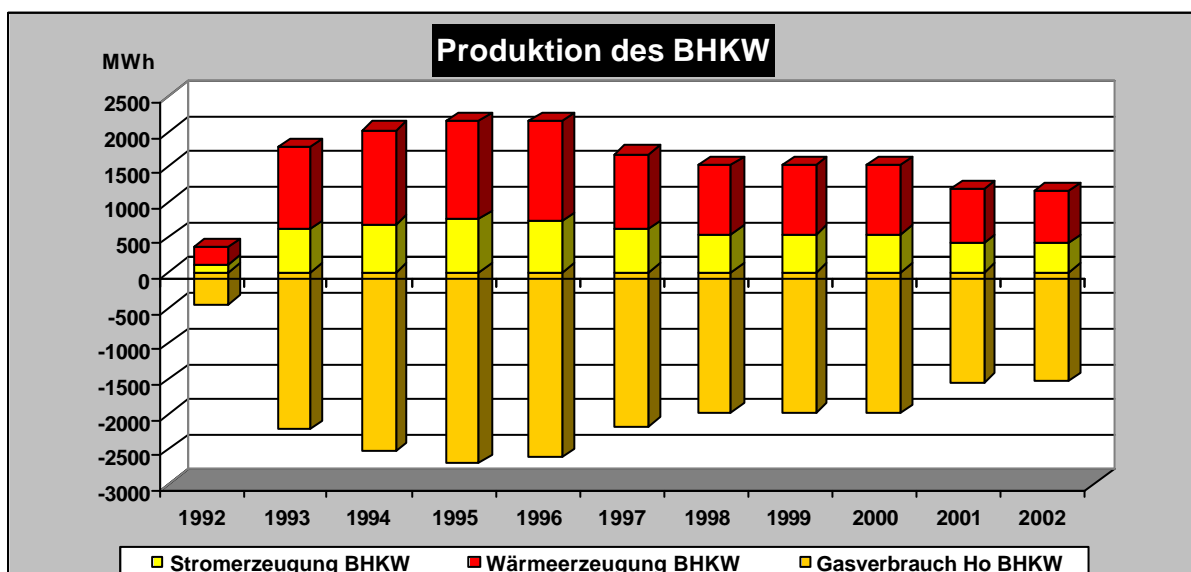
Neben Hallenbädern stellen Schulen mit Lehrschwimmbecken wegen des hohen sommerlichen Wärmebedarfs einen besonders günstigen Anwendungsfall für BHKW dar. Daher wurden in der Carl-Schurz-Schule, in der Dahmann-Schule und in der Wöhler-Schule insgesamt 5 Module mit je ca. 50 kW<sub>el</sub> und 100 kW<sub>th</sub> installiert. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen ist am Beispiel der Wöhler-Schule in Anlage 1 dargestellt.



**Abbildung 3:** BHKW in der Wöhler-Schule

Die Aggregate wurden im Oktober 1992 in Betrieb genommen. Die Investitionskosten (incl. Planung) lagen ohne Förderung bei ca. 4,5 - 5 TDM/kW<sub>el</sub> (brutto) und mit Förderung bei ca. 3,5 - 4 TDM/kW<sub>el</sub>. Für die Wirtschaftlichkeit wird durchgehend mit einer Nutzungsdauer von 10 Jahren und einem Kapitalzins von 6 % gerechnet.

Die mittleren Benutzungsstunden liegen bei ca. 5.500 h/a, sodass die Anlagen inzwischen ca. 50.000 Betriebsstunden angesammelt haben (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Produktion des BHKW in der Wöhler-Schule (2002: Prognose)

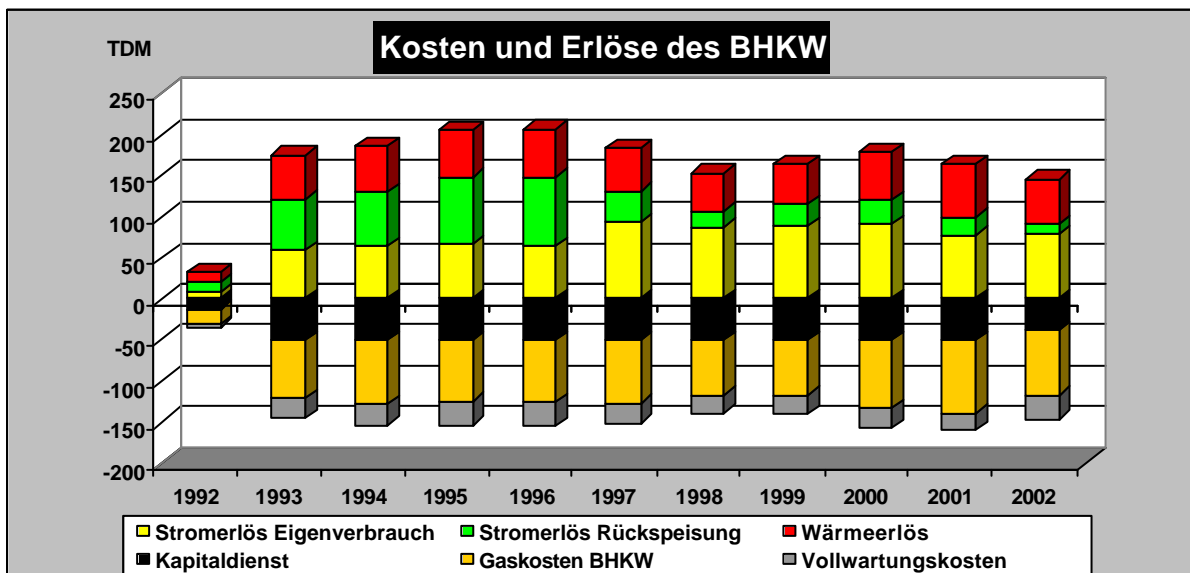
Da alle BHKW mit separaten Gas-, Strom- und Wärmemengenzählern ausgestattet sind, können auch die erreichten Wirkungsgrade laufend überwacht werden. Die elektrischen Wirkungsgrade liegen zwischen 30 und 32 %, die thermischen Wirkungsgrade zwischen 55 und 60 %. Der Anteil der Rückspeisung ins Netz liegt bei diesen Anlagen mit ca. 35 – 70 % sehr hoch. Dies war bei den hohen Rückspeisevergütungen der Vergangenheit kein Problem. Heute müsste man die Aggregate deutlich kleiner auslegen.

Bei der Berechnung des mittleren Gaspreises für die BHKW-Versorgung muss man den Gaspreisrabatt des Versorgers für die Nutzung in KWK-Anlagen sowie die Gassteuererstattung durch das Hauptzollamt berücksichtigen. In der Vergangenheit ergab sich ein Wert zwischen 2,7 und 5,8 Pf/kWh (brutto).

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von BHKW ist neben der erreichten Benutzungsstundenzahl insbesondere der Strompreis. Für die Berechnung des Leistungspreises wird der Mittelwert aus den 3 maximalen Monatsleistungen herangezogen. Bei Laufzeiten von 5.500 h/a wird davon ausgegangen, dass das BHKW an mindestens 2 dieser Monatsspitzen in Betrieb ist. Daher werden 70 % der erzeugten Leistung des BHKW auf den Strompreis mit angerechnet. Das Verhältnis zwischen HT und NT wurde mit 70 zu 30 abgeschätzt. Mit diesen Annahmen ergab sich in den Schulen in der Vergangenheit eine Bewertung des Eigenverbrauches zwischen 25 und 30 Pf/kWh (brutto) und eine Bewertung der Rückspeisung von 15 – 16,5 Pf/kWh (brutto). Für das Jahr 2002 wird trotz des neuen KWK-Gesetzes nur mit einer mittleren Vergütung von 7,7 Pf/kWh gerechnet. Der Preis für die verdrängte Wärme aus der Kesselanlage lag bei ca. 4 – 8 Pf/kWh (netto).

Für alle Anlagen wurde ein Vollwartungsvertrag abgeschlossen. Auf diese Weise lassen sich die Kosten für Wartung und Instandhaltung am besten kalkulieren. Sie lagen für die 50 kW<sub>el</sub>-Aggregate bei ca. 4,2 Pf/kWh<sub>el</sub>. Da der Wartungsvertrag nach 10 Jahren ausläuft, ist in Zukunft mit höheren Werten zu rechnen.

Bei Summation aller Kosten und Erlöse aus den o.g. Parametern ergab sich in der Vergangenheit ein jährlicher Überschuss von ca. 10 - 18 TDM für die 1-Modul-Anlage und von 15 - 50 TDM für die 2-Modul-Anlagen. Die kumulierten Überschüsse liegen für die 1 Modul-Anlage bei 44 TDM und für die 2-Modul-Anlagen bei ca. 200 bzw. 250 TDM.



**Abbildung 5:** Kosten und Erlöse für das BHKW in der Wöhler-Schule (2002: Prognose)

Die Anlagen haben ihre rechnerische Lebensdauer von 10 Jahren im Jahr 2002 erreicht. Danach verbessert sich die Wirtschaftlichkeit durch den Wegfall des Kapitaldienstes natürlich erheblich.

### 3. Erfahrungen mit 5,5 kW<sub>el</sub>-Modulen

Das Land Hessen hat sich Anfang der 90er Jahre intensiv für die Entwicklung von Klein-BHKW in der Größenklasse von 5 kW<sub>el</sub> eingesetzt. Im Rahmen des Kooperationsprojektes mit der Fa. Fichtel & Sachs hatte die Stadt Frankfurt a.M. die Gelegenheit, 5 Module zum geförderten Preis von 19 TDM (ca. 3.500 DM/kW<sub>el</sub>) zu erhalten. Nachdem das Kinderheim Buchenrode verkauft wurde, sind jetzt noch 4 Module in städtischen Liegenschaften in Betrieb. Dazu gehören eine Feuerwache, eine Kinderkrippe, eine Schule und eine Sozialstation. Die Wirtschaftlichkeit dieser Geräte ist am Beispiel der Sozialstation in der Anlage 2 dargestellt.

Die Aggregate wurden im Februar 1994 in Betrieb genommen. Die Benutzungsstunden liegen im Mittel bei ca. 6.000 h/a, sodass auch diese Anlagen zwischen 37.000 und 59.000 Betriebsstunden angesammelt haben. Die Werte in der Feuerwache liegen am niedrigsten, da es dort in dem alten Heizungssystem Schwierigkeiten mit der Rücklauftemperatur gibt.

Auch diese BHKW sind mit separaten Gas-, Strom- und Wärmemengenzählern ausgestattet. Die berechneten elektrischen Wirkungsgrade liegen zwischen 24 und 27 %, die thermischen Wirkungsgrade zwischen 40 und 65 %. Die niedrigen Werte bei der Wärme beruhen jedoch vermutlich auf Messfehlern, da zum einen die Temperaturfühler der Wärmemengenzähler nicht korrekt angebracht waren und zum anderen die Zähler relativ häufig ausfielen. Die tatsächlich genutzte Wärmemenge dürfte also höher liegen. Der Anteil der Rückspeisung ins Netz liegt bei diesen Anlagen im Mittel zwischen 0 % (Feuerwache) und 35 % (Kinderkrippe, Sozialstation). Die Bewertung des Eigenverbrauches ergab für diese Objekte Werte zwischen 20 und 25 Pf/kWh (brutto).

Die Wartung wurde in den ersten 3 Jahren im Rahmen des Förderprojektes kostenfrei übernommen. Anschließend wurde auch hier für alle Anlagen ein Vollwartungsvertrag abgeschlossen. Aus dem pauschalen Jahrespreis von 1.725 DM ergeben sich bei den unterschiedlichen Laufzeiten spezifische Vollwartungskosten zwischen 4 und 8 Pf/kWh<sub>el</sub>. Bei Summation aller Kosten und Erlöse aus den o.g. Parametern ergab sich in der Vergangenheit ein jährlicher Überschuss von ca. 0 - 5 TDM. Die Überschüsse sind stark abhängig von den erreichten Benutzungsstunden. Bei den o.g. Randbedingungen kann unter 4.000 h/a kein Überschuss mehr erwirtschaftet werden. Die kumulierten Überschüsse liegen zwischen 11 und 18 TDM.

Da der Anteil der Rückspeisung dieser kleinen Anlagen deutlich geringer ist als bei den größeren Anlagen, sind diese auch unempfindlicher gegen den Wegfall der alten Einspeisevergütung. Auch bei einem deutlichen Absinken der Vergütung können die Anlagen noch kostenneutral betrieben werden.

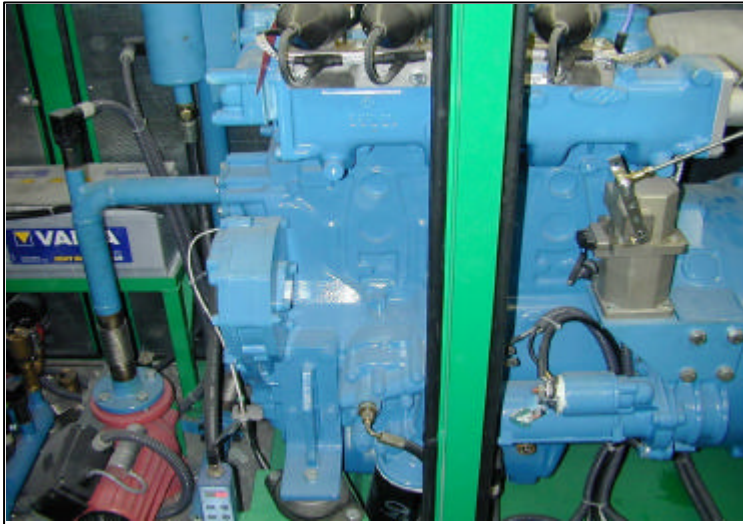
### 4. Neue Anlagen im Jahr 2000

Im Rahmen der Asbestsanierung der vier sog. Fillod-Schulen in Frankfurt wurde auch die gesamte Anlagentechnik erneuert. Da für diese Schulen aufgrund deren Größe ohnehin Netzersatzanlagen erforderlich waren, lag es nahe, diese als BHKW mit Netzersatzfunktion auszuführen. Außerdem verfügen die Schulen über Sporthallen, deren Warmwasserbereiter über eine Nahwärmeleitung an die Heizzentrale angeschlossen sind. Durch den Betrieb der BHKW kann nun die Kesselanlage im Sommer komplett stillgelegt werden. Auf diese Weise werden die Bereitschaftsverluste deutlich reduziert. Die Wirtschaftlichkeit dieser Geräte ist am Beispiel der Friedrich-Ebert-Schule in der Anlage 3 dargestellt.

Es kamen Module mit 30 kW<sub>el</sub> und 50 kW<sub>th</sub> zum Einsatz. Die Mehrinvestitionen gegenüber der herkömmlichen Netzersatzanlage (incl. Planung) lagen ohne Förderung bei ca. 5,5 TDM/kW<sub>el</sub> (brutto) und mit Förderung bei ca. 4,5 TDM/kW<sub>el</sub>. Die Aggregate wurden im Oktober 2000 in Betrieb genommen.

Im Jahr 2001 wurden die prognostizierten Laufzeiten von 6.000 h/a meist nicht erreicht. Dies liegt daran, dass es sich bei den Wärmezentralen um sehr verzweigte Netze handelt und häufig zu hohe Rücklauftemperaturen auftraten.

Der mittlere Gaspreis für die BHKW lag im Jahr 2001 mit 6 Pf/kWh (brutto) sehr hoch. Das Hauptproblem liegt bei diesen Anlagen jedoch an den günstigen Strompreisen, die in einer Rahmenvereinbarung mit der Mainova ausgehandelt wurden. Die Bewertung für den Eigenverbrauch ergibt für den Mittelspannungstarif HP 1 ca. 15 Pf/kWh (brutto).



**Abbildung 6:** BHKW in der Friedrich-Ebert-Schule

Bei Summation aller Kosten und Erlöse aus den o.g. Parametern ergibt eine jährliche Unterdeckung von ca. 10 TDM für die 1-Modul-Anlagen und von 20 TDM für die 2-Modul-Anlage. Die Aggregate arbeiten also bei dem gegenwärtigen Preisniveau (was während der Planungsphase noch nicht absehbar war) nicht wirtschaftlich. Allerdings ergibt sich durch den Betrieb immer noch ein Kostendeckungsbeitrag für die Kapitalkosten, sodass die Anlagen auch weiterhin als BHKW betrieben werden können.

Nahezu gleichzeitig wurden in der Linné-Schule und im Umweltamt zwei Senertec-Anlagen mit 5 kW<sub>el</sub> eingebaut. Die Anlage im Umweltamt wurde dabei über das stadtinterne Contracting finanziert.

In diesen kleineren Liegenschaften wird auch in Zukunft der Strompreis höher liegen, sodass sich für die Linné-Schule immerhin ein jährlicher Überschuss von 4 TDM errechnet. Die Anlage im Umweltamt läuft kostenneutral.

## 5. Fazit

Die Stadt Frankfurt hat mit Klein-BHKW in den letzten Jahren über 6.600 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart und gleichzeitig 474 TDM an Gewinnen erwirtschaftet. Durch die Liberalisierung des Strommarktes und den starken Gaspreisanstieg in der Folge der Ölpreissteigerungen haben sich die wirtschaftlichen Randbedingungen für BHKW zum Teil deutlich verschlechtert. Dem wirken jedoch gesetzliche Regelungen wie die Einführung der Ökosteuern sowie die erhöhte Vergütung nach dem KWK-Gesetz entgegen.

BHKW sind auch weiterhin ein sehr wirksames Instrument zum Klimaschutz und können unter geeigneten Randbedingungen auch im liberalisierten Energiemarkt wirtschaftlich betrieben werden.

Dieser Vortrag und die zugehörigen Excel-Kalkulationsblätter können im Internet unter [www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement](http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement) abgerufen werden.

# Anlage 1

## Wirtschaftlichkeitsberechnung für BHKW

Alle Kosten brutto (incl. MWSt.) sofern nicht anders vermerkt

Projekt	<b>Wöhler-Schule</b>		Inbetriebnahmedatum	<b>Okt 92</b>
Straße, Hausnr.	<b>Mierendorffstraße 6</b>			
Anzahl Module	<b>2</b>		Fabrikat	<b>Communa-Metall</b>
Gesamtleistung elektrisch	<b>107</b> kW		elektr. Wirkungsgrad	<b>30%</b>
Gesamtleistung thermisch	<b>205</b> kW		therm. Wirkungsgrad	<b>58%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Hu	<b>356</b> kW(Hu)		ges. Wirkungsgrad	<b>88%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Ho	<b>394</b> kW(Ho)		Kesselnutzungsgrad	<b>80%</b>
Investition ohne Förderung	<b>476</b> TDM	<b>4.449</b> DM/kWel	Kapitalzins	<b>6%</b>
Förderung (Land Hessen)	<b>107</b> TDM	<b>1.004</b> DM/kWel	Nutzungsdauer	<b>10</b> a
Verbleibende Eigeninvestition	<b>369</b> TDM	<b>3.445</b> DM/kWel	Annuität	<b>0,136</b>

Betriebsergebnisse	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
												<b>Prognose</b>
Benutzungsstunden	<b>1.131</b>	<b>5.776</b>	<b>6.495</b>	<b>6.972</b>	<b>6.813</b>	<b>5.785</b>	<b>5.009</b>	<b>5.047</b>	<b>5.203</b>	<b>4.011</b>	<b>4.000</b>	h/a
Benutzungsstunden kumuliert	<b>1.131</b>	<b>6.907</b>	<b>13.402</b>	<b>20.374</b>	<b>27.187</b>	<b>32.972</b>	<b>37.981</b>	<b>43.028</b>	<b>48.232</b>	<b>52.242</b>	<b>56.242</b>	h
Gasverbrauch Ho BHKW	-432	-2.222	-2.517	-2.710	-2.613	-2.163	-1.981	-1.981	-1.985	-1.538	-1.526	MWh
Stromerzeugung BHKW	121	618	695	746	729	619	536	540	557	429	428	MWh
elektr. Wirkungsgrad	<b>31%</b>	<b>31%</b>	<b>31%</b>	<b>30%</b>	<b>31%</b>	<b>32%</b>	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>31%</b>	<b>31%</b>	<b>31%</b>	
Eigenverbrauch	45	210	229	241	217	380	360	361	367	272	268	MWh
Rückspeisung	76	408	466	506	512	240	176	179	190	158	160	MWh
Anteil Rückspeisung	<b>63%</b>	<b>66%</b>	<b>67%</b>	<b>68%</b>	<b>70%</b>	<b>39%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>	<b>34%</b>	<b>37%</b>	<b>37%</b>	
Wärmeerzeugung BHKW	233	1171	1316	1413	1408	1068	982	978	961	768	739	MWh
therm. Wirkungsgrad	<b>60%</b>	<b>58%</b>	<b>58%</b>	<b>58%</b>	<b>60%</b>	<b>55%</b>	<b>55%</b>	<b>55%</b>	<b>54%</b>	<b>55%</b>	<b>54%</b>	
CO <sub>2</sub> -Einsparung	57	280	311	332	340	262	221	222	228	182	175	to
CO <sub>2</sub> -Einsparung kumuliert	<b>57</b>	<b>337</b>	<b>647</b>	<b>979</b>	<b>1.319</b>	<b>1.582</b>	<b>1.803</b>	<b>2.025</b>	<b>2.253</b>	<b>2.435</b>	<b>2.428</b>	to
	* 1997 IPI-Bau auf Hauptzähler											
Mehrwertsteuer	14%	15%	15%	15%	15%	15%	16%	16%	16%	16%	16%	
Gasbezugsvertrag	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	VG I	
Leistungspreis Gas (netto)	1,32	1,37	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	DM/kW,m
Arbeitspreis Gas (netto)	3,35	3,12	3,02	2,75	2,85	3,40	3,20	3,49	4,23	5,60	5,10	Pf/kWh
Gaspreiserstatt (netto)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	Pf/kWh <sub>el</sub>
Gassteuererstattung (netto)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,60	0,68	0,68	0,68	Pf/kWh
mittl. Gaspreis BHKW	<b>3,99</b>	<b>3,17</b>	<b>3,05</b>	<b>2,73</b>	<b>2,85</b>	<b>3,51</b>	<b>3,32</b>	<b>3,39</b>	<b>4,15</b>	<b>5,79</b>	<b>5,21</b>	Pf/kWh
Strombezugstarif	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	1241	BK L	BK L	BK L	
Leistungspreis Strom (netto)	220	220	220	220	240	240	240	200	200	200	200	DM/kW,a
Arbeitspreis Strom HT (netto)	18,5	18,4	18,4	18,4	18,4	17,7	16,5	18,0	18,5	19,7	20,8	Pf/kWh
Arbeitspreis Strom NT (netto)	13,7	13,6	13,6	13,6	14,3	14,3	13,9	14,9	15,4	16,6	17,7	Pf/kWh
mittl. Strompreis Eigenverbr.	<b>19,4</b>	<b>28,5</b>	<b>27,7</b>	<b>27,3</b>	<b>29,3</b>	<b>24,6</b>	<b>24,0</b>	<b>24,6</b>	<b>25,1</b>	<b>28,2</b>	<b>29,5</b>	Pf/kWh
mittl. Strompreis Rückspeis.	<b>15,6</b>	<b>15,2</b>	<b>14,2</b>	<b>16,3</b>	<b>16,5</b>	<b>15,2</b>	<b>11,6</b>	<b>14,8</b>	<b>15,0</b>	<b>15,0</b>	<b>7,7</b>	Pf/kWh
mittl. Wärmepreis Kessel	<b>4,8</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>4,0</b>	<b>4,1</b>	<b>4,9</b>	<b>4,6</b>	<b>5,1</b>	<b>6,1</b>	<b>8,1</b>	<b>7,4</b>	Pf/kWh
Vollwartungspreis	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>	<b>4,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>	<b>6,6</b>	Pf/kWh
Kapitaldienst	-13	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-38	TDM/a
Gaskosten BHKW	-17	-70	-77	-74	-74	-76	-66	-67	-82	-89	-80	TDM/a
Stromerlös Eigenverbrauch	9	60	64	66	64	94	86	89	92	76	79	TDM/a
Stromerlös Rückspeisung (nett)	10	54	57	72	73	32	20	23	25	20	11	TDM/a
Stromerlös Rückspeisung	12	62	66	83	84	36	20	26	28	24	12	TDM/a
Wärmeerlös	11	53	57	56	58	52	45	49	59	62	55	TDM/a
Vollwartungskosten	-5	-24	-27	-30	-30	-26	-23	-23	-24	-20	-28	TDM/a
Überschuß	<b>-3</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>31</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	TDM/a
kumulierter Überschuß	<b>-3</b>	<b>27</b>	<b>60</b>	<b>110</b>	<b>161</b>	<b>192</b>	<b>206</b>	<b>230</b>	<b>253</b>	<b>256</b>	<b>253</b>	TDM

Anlage 2

**Wirtschaftlichkeitsberechnung für BHKW**

Alle Kosten brutto (incl. MWSt.) sofern nicht anders vermerkt

Projekt	<b>Sozialstation Eschersheim</b>		Inbetriebnahmedatum	<b>Feb 94</b>
Straße, Hausnr.	<b>Nusszeil 48</b>			
Anzahl Module	<b>1</b>		Fabrikat	<b>Fichtel &amp; Sachs</b>
Gesamtleistung elektrisch	<b>5,5</b> kW		elektr. Wirkungsgrad	<b>26%</b>
Gesamtleistung thermisch	<b>13</b> kW		therm. Wirkungsgrad	<b>62%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Hu	<b>21</b> kW(Hu)		ges. Wirkungsgrad	<b>88%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Ho	<b>23</b> kW(Ho)		Kesselnutzungsgrad	<b>80%</b>
Investition ohne Förderung	<b>30</b> TDM	<b>5.455</b> DM/kWel	Kapitalzins	<b>6%</b>
Förderung (Land Hessen)	<b>11</b> TDM	<b>2.000</b> DM/kWel	Nutzungsdauer	<b>10</b> a
Verbleibende Eigeninvestition	<b>19</b> TDM	<b>3.455</b> DM/kWel	Annuität	<b>0,136</b>

Betriebsergebnisse	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
										<b>Prognose</b>
Benutzungsstunden	<b>7.364</b>	<b>7.855</b>	<b>7.000</b>	<b>7.600</b>	<b>6.909</b>	<b>3.964</b>	<b>5.155</b>	<b>5.525</b>	<b>5.155</b>	h/a
Benutzungsstunden kumuliert	<b>7.364</b>	<b>15.218</b>	<b>22.218</b>	<b>29.818</b>	<b>36.727</b>	<b>40.691</b>	<b>45.846</b>	<b>51.372</b>	<b>56.527</b>	h
Gasverbrauch Ho BHKW	-184	-188	-162	-182	-159	-91	-118	-126	-118	MWh
Stromerzeugung BHKW	41	43	39	42	38	22	28	30	28	MWh
elektr. Wirkungsgrad	<b>24%</b>	<b>25%</b>	<b>26%</b>	<b>25%</b>	<b>26%</b>	<b>26%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	<b>27%</b>	
Eigenverbrauch	23	25	26	27	25	17	22	24	22	MWh
Rückspeisung	17	18	13	15	13	5	6	6	6	MWh
Anteil Rückspeisung	<b>43%</b>	<b>42%</b>	<b>33%</b>	<b>36%</b>	<b>35%</b>	<b>23%</b>	<b>21%</b>	<b>20%</b>	<b>21%</b>	
Wärmeerzeugung BHKW	105	68	81	95	90	38	67	61	67	MWh
therm. Wirkungsgrad	<b>63%</b>	<b>40%</b>	<b>55%</b>	<b>58%</b>	<b>63%</b>	<b>46%</b>	<b>63%</b>	<b>54%</b>	<b>63%</b>	
CO2-Einsparung	18	8	15	17	18	6	13	11	13	to
CO2-Einsparung kumuliert	<b>18</b>	<b>27</b>	<b>41</b>	<b>58</b>	<b>76</b>	<b>82</b>	<b>95</b>	<b>106</b>	<b>109</b>	to
										* Wärmeerzeugung 1997 geschätzt, da Zähler defekt
Mehrwertsteuer	15%	15%	15%	15%	16%	16%	16%	16%	16%	
Gasbezugsvertrag	VG II	VG II	VG II	VG II	VG II	VG II	VG II	VG II	VG II	
Leistungspreis Gas (netto)	1,00	1,00	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	DM/kW,m
Arbeitspreis Gas (netto)	3,32	3,00	3,15	3,70	3,50	3,15	4,54	5,90	5,40	Pf/kWh
Gaspreiserstatt (netto)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	Pf/kWh
Gassteuererstattung (netto)	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,60	0,68	0,68	0,68	Pf/kWh
mittl. Gaspreis BHKW	<b>3,35</b>	<b>2,98</b>	<b>3,16</b>	<b>3,79</b>	<b>3,59</b>	<b>2,98</b>	<b>4,46</b>	<b>6,03</b>	<b>5,46</b>	Pf/kWh
Strombezugstarif	1241	1241	1241	1241	1241	1241	BP 1	BP 1	BP 1	
Leistungspreis Strom (netto)	220	220	240	240	240	200	0	0	0	DM/kW,a
Arbeitspreis Strom HT (netto)	18,4	18,4	18,4	17,7	16,5	18,0	19,7	21,6	22,0	Pf/kWh
Arbeitspreis Strom NT (netto)	13,6	13,6	14,3	14,3	13,9	14,9	19,7	21,6	22,0	Pf/kWh
mittl. Strompreis Eigenverbr.	<b>23,7</b>	<b>23,4</b>	<b>23,9</b>	<b>23,1</b>	<b>22,5</b>	<b>25,1</b>	<b>22,8</b>	<b>25,0</b>	<b>25,6</b>	Pf/kWh
mittl. Strompreis Rückspeis.	<b>16,2</b>	<b>16,3</b>	<b>16,5</b>	<b>16,4</b>	<b>16,2</b>	<b>16,0</b>	<b>13,5</b>	<b>14,5</b>	<b>7,7</b>	Pf/kWh
mittl. Wärmepreis Kessel	<b>4,8</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,1</b>	<b>4,6</b>	<b>6,6</b>	<b>8,6</b>	<b>7,8</b>	Pf/kWh
Vollwartungspreis	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>4,1</b>	<b>4,5</b>	<b>7,9</b>	<b>6,1</b>	<b>5,7</b>	<b>6,1</b>	Pf/kWh
										1994-1996 keine Wartungskosten wegen Förderung
Kapitaldienst	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	TDM/a
Gaskosten BHKW	-6	-6	-5	-7	-6	-3	-5	-8	-6	TDM/a
Stromerlös Eigenverbrauch	5	6	6	6	6	4	5	6	6	TDM/a
Stromerlös Rückspeisung	3	3	2	2	2	1	1	1	0	TDM/a
Wärmeerlös	5	3	4	5	5	2	4	5	5	TDM/a
Vollwartungskosten	0	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	TDM/a
Überschuß	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	TDM/a
kumulierter Überschuß	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	TDM



### Anlage 3

## Wirtschaftlichkeitsberechnung für BHKW

Alle Kosten brutto (incl. MWSt.) sofern nicht anders vermerkt

Projekt	<b>Friedrich-Ebert-Schule</b>		Inbetriebnahmedatum	<b>Okt 00</b>
Straße, Hausnr.	<b>Arolser Straße 11</b>			
Anzahl Module	<b>1</b>		Fabrikat	<b>Schmitt-Enertec</b>
Gesamtleistung elektrisch	<b>30</b> kW		elektr. Wirkungsgrad	<b>33%</b>
Gesamtleistung thermisch	<b>50</b> kW		therm. Wirkungsgrad	<b>56%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Hu	<b>90</b> kW(Hu)		ges. Wirkungsgrad	<b>89%</b>
Gesamtleistung Gasbezug Ho	<b>100</b> kW(Ho)		Kesselnutzungsgrad	<b>90%</b>
Mehrinvestition o. Förderung	<b>170</b> TDM	<b>5.667</b> DM/kWel	Kapitalzins	<b>6%</b>
Förderung (Land/Mainova)	<b>33</b> TDM	<b>1.100</b> DM/kWel	Nutzungsdauer	<b>10</b> a
Verbleibende Eigeninvestition	<b>137</b> TDM	<b>4.567</b> DM/kWel	Annuität	<b>0,136</b>

Betriebsergebnisse	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
	Prognose						
Benutzungsstunden	<b>596</b>	<b>4.377</b>	<b>6.000</b>				h/a
Benutzungsstunden kumuliert	<b>596</b>	<b>4.973</b>	<b>10.973</b>				h
Gasverbrauch Ho BHKW	-60	-436	-598				MWh
Stromerzeugung BHKW	13	131	180				MWh
elektr. Wirkungsgrad	<b>24%</b>	<b>33%</b>	<b>33%</b>				
Eigenverbrauch	13	131	180				MWh
Rückspeisung	0	0	0				MWh
Anteil Rückspeisung	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>				
Wärmeerzeugung BHKW	27	219	300				MWh
therm. Wirkungsgrad	<b>50%</b>	<b>56%</b>	<b>56%</b>				
CO2-Einsparung	3	51	70				to
CO2-Einsparung kumuliert	<b>3</b>	<b>54</b>	<b>124</b>				to
Mehrwertsteuer	16%	16%	16%				
Gasbezugsvertrag	VG II	VG II	VG II				
Leistungspreis Gas (netto)	1,08	1,08	1,08				DM/kW,m
Arbeitspreis Gas (netto)	4,54	5,90	5,40				Pf/kWh
Gaspreisrabatt (netto)	0,53	0,53	0,53				Pf/kWh
Gassteuererstattung (netto)	0,68	0,68	0,68				Pf/kWh
mittl. Gaspreis BHKW	<b>5,60</b>	<b>6,07</b>	<b>5,44</b>				Pf/kWh
Strombezugstarif	HP 1	HP 1	HP 1				
Leistungspreis Strom (netto)	96	96	96				DM/kW,a
Arbeitspreis Strom HT (netto)	10,5	12,5	12,9				Pf/kWh
Arbeitspreis Strom NT (netto)	10,5	12,5	12,9				Pf/kWh
mittl. Strompreis Eigenverbr.	<b>12,2</b>	<b>16,2</b>	<b>16,3</b>				Pf/kWh
mittl. Strompreis Rückspeis.							Pf/kWh
mittl. Wärmepreis Kessel	<b>5,9</b>	<b>7,6</b>	<b>7,0</b>				Pf/kWh
Vollwartungspreis	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>				Pf/kWh
Kapitaldienst	-5	-19	-19				TDM/a
Gaskosten BHKW	-3	-26	-33				TDM/a
Stromerlös Eigenverbrauch	2	21	29				TDM/a
Stromerlös Rückspeisung	0	0	0				TDM/a
Wärmeerlös	2	17	21				TDM/a
Vollwartungskosten	-1	-7	-9				TDM/a
Überschuß	<b>-5</b>	<b>-14</b>	<b>-10</b>				TDM/a
kumulierter Überschuß	<b>-5</b>	<b>-19</b>	<b>-29</b>				TDM