

**Forschungsprogramm
Biomasse**

**Messprojekt Biogas-BHKW
Messkampagne an 2 neuen BHKW-Typen
(Zündstrahlgeräte mit Turbolader und Luftkühlung)**

ausgearbeitet durch:

Thomas Böhni
Energie&Umwelt, Frauenfeld

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Juli 1999

Schlussbericht

Messprojekt BIOGAS-BHKW

Messkampagne an 2 neuen BHKW-Typen

(Zündstrahlgeräte mit Turbolader und Ladeluftkühlung)

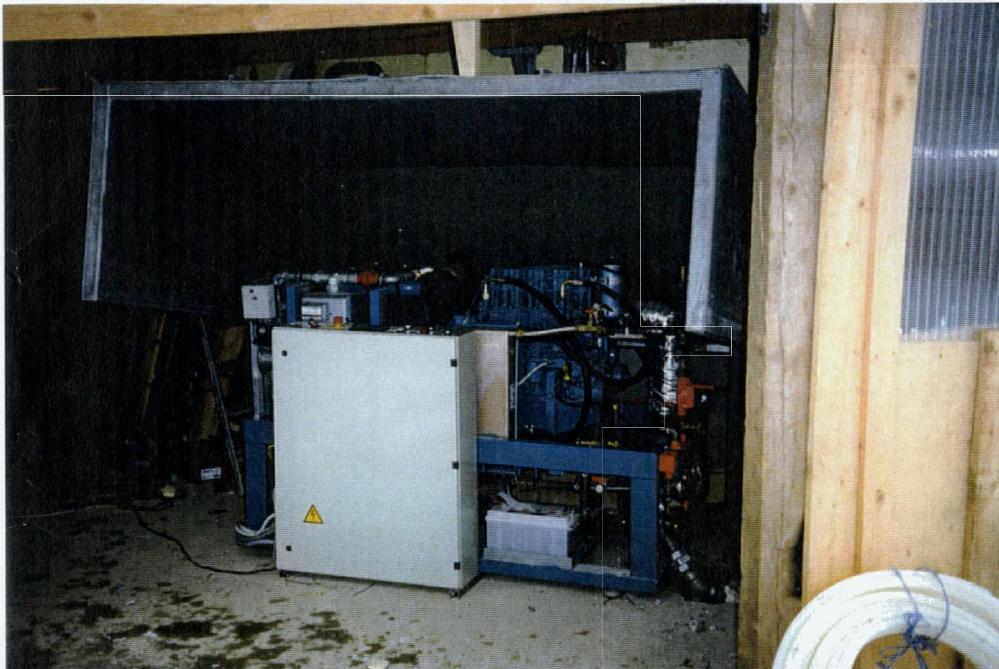


Bild:
Blockheizkraft-
werk mit Schalt-
schrank und Gas-
regelstrecke
(oberhalb Schalt-
schrank)

Erstellt im Auftrag vom:
Bundesamt für Energie
Bereich: Biomasse (Vergärung)

Inhalt:	Seite
Ausgangslage	3
Ziele	
Eingesetzte BHKW Typen	
Zusammenfassung	4
1. Resultate Anlage Renfer: BHKW mit 22 kW elektrischer Leistung	
2. Resultate Anlage Neukomm: BHKW mit 65 kW elektrischer Leistung	
Überlegungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einer Kompakt-Biogasanlage	5
Auswertung Anlage Renfer	
Ausgangslage: BHKW 22 kW el.: (Ersteinsatz bei einer neuen Biogasanlage)	6
Messumfang gemäss Projektvorgabe	
Auswertung der Messperiode vom 10.1.98 - 1.2.99 (entspricht 385 Tagen):	
Service- und Unterhaltskosten in Abhängigkeit der täglichen BHKW-Laufzeit	8
Auswertung Anlage Neukomm	10
Ausgangslage: BHKW 65 kW el.: (Ersatz 2 bestehender Geräte):	
Messumfang gemäss Projektvorgabe	
Auswertung der Messperiode vom 1.3.98 - 28.2.99 (entspricht 365 Tagen)	
Zusammenfassung	11
Service- und Unterhaltskosten in Abhängigkeit der täglichen BHKW-Laufzeit	12
Wirtschaftlichkeit einer Kompakt-Biogasanlage in Abhängigkeit der Biogasmenge pro Tag sowie dem BHKW-Typ	13

Dank:

Unser Dank gilt dem Bundesamt für Energie vertreten durch Herrn M. Hinderling sowie den beiden Projektpartnern Herrn Hanspeter Renfer und Herrn Hanspeter Neukomm für die stets angenehme und hilfreiche Zusammenarbeit.

Impressum:

Bericht: Juli 1999

Auftraggeber: Bundesamt für Energie; Bereich Biomasse

Sachbearbeitung: Böhni Energie und Umwelt GmbH

Projektleiter: Thomas Böhni

Industriestr. 23, 8500 Frauenfeld, Tel. 052 728 89 97

Titelbild: BIOGAS-BHKW

Messprojekt BIOGAS-BHKW - Messkampagne an 2 neuen BHKW-Typen (Zündstrahlgeräte mit Turbolader und Ladeluftkühlung)

Ausgangslage:

In diesem Messprojekt wurden die Daten von zwei neuen BHKW-Typen (Zündstrahlgeräte mit Turbolader und Ladeluftkühlung) während einem Jahr erfasst. Insbesondere soll der Wirkungsgrad, der Betreuungsaufwand sowie der Unterhalt von BIOGAS- BHKW's untersucht werden.

Ziele:

Die Erfassung der Bereiche

- Wirkungsgrad
- Service- und Unterhaltskosten für ein Biogas-BHKW
- Reparaturkosten
- Störanfälligkeit
- Abgaswerte

sollen neue Kennzahlen für den Betrieb von BIOGAS-BHKW's liefern.

Da das BHKW ein zentrales Element einer Biogasanlage ist, sollen die neuen Kennzahlen eine verbesserte Grundlage zur Erfassung der Gesamtwirtschaftlichkeit einer Biogasanlage bilden.

Eingesetzte BHKW Typen:

Werksangaben:	Einheit	BHKW auf dem Gutsbetrieb Gfellerhof in 8051 Zürich: Betriebsleiter H.P. Renfer (Kurzbezeichnung: Anlage Renfer)	BHKW auf dem Betrieb Neukomm in 8240 Thayngen: Betriebsleiter H.P. Neukomm (Kurzbez.: Anlage Neukomm)
Leistung elektrisch	kW	22	65
Hersteller		Schnell Anlagenbau; D-88279 Amtzell	Schnell Anlagenbau; D-88279 Amtzell
Typ		0220 TL	0650 TL
Art Motor		Dieselmotor; Deutz Zündstrahl	Dieselmotor; Perkins Zündstrahl
Zylinder		4	6
Typ. Generator		VEM Asyn.	VEM Asyn.
Verbrennungsluft		Turbolader mit Ladeluftkühlung	Turbolader mit Ladeluftkühlung
Wirkungsgrad			
Elektrisch	%	30	33
Thermisch	%	40	40
Verbrauch bei Volllast (65 % CH4)	m3/h	10	27
Zündölanteil	l/h	0.7	2
Einsatzbereich			
Optimale Biogasmenge pro Tag für den üblichen HT-Betrieb	m3/d	140	378

Zusammenfassung:**1. Resultate Anlage Renfer: BHKW mit 22 kW elektrischer Leistung
(Basis Dieselmotor)**

Die Anlage erfüllt die Erwartungen nur zum Teil.

Wirkungsgrad:

Die Anlage erreicht die angegebenen Werte vom BHKW-Lieferant bezüglich Wirkungsgrad knapp (resp. für den thermischen Wirkungsgrad musste ein Abgaswärmetauscher nachgerüstet werden).

Im Vergleich zu anderen Klein-BHKW's (z.B. Totem's auf Ottomotorbasis im Biogasbereich, Wirkungsgrad el. 22 %) ist der elektrische Wirkungsgrad mit 28.5 % als sehr gut zu bezeichnen. Hingegen liegt der thermische Wirkungsgrad mit 37.5% wesentlich tiefer im Vergleich zu anderen Klein-BHKW's (z.B. Totem's im Biogasbereich, Wirkungsgrad th. 58 %).

Service-, Unterhalts- und Reparaturkosten:

Die Bediener- und Servicefreundlichkeit kann als gut bezeichnet werden. Die Service-, Unterhalts- und Reparaturkosten belaufen sich auf 6.2 Rp. / kWhel. bei einer täglichen BHKW-Laufzeit von 6.1 Std. Dieser Wert liegt ebenfalls deutlich über den Erwartungen von 3.5 Rp./kWhel. Wird die Laufzeit optimiert (18 Std./Tag) ist eine Reduktion von 1 Rp./kWhel. möglich.

Störungen / Reparaturen während dem Betrieb:

Während der Messperiode sind keine nennenswerten Störungen aufgetreten. Kleine-re Reparaturen wie eine defekte Geräteabschaltvorrichtung oder defekte Kontrolleuchten konnten im Rahmen der "normalen" Störungsbehebung erledigt werden.

Abgaswerte:

Im Vergleich zu den LRV-Grenzwerten liegen die gemessenen Werte höher. Dies ist ein wesentlicher Negativpunkt und entspricht nicht den Erwartungen, welche an ei-nen neu entwickelten Dieselmotor, welcher mit Biogas betrieben wird, gestellt werden.

Gemessen: 1615 mg NOx / m³ und 1321 mg CO / m³.

LRV-Grenzwert 98: 400 mg NOx / m³ und 650 mg CO / m³.

Dazu muss erwähnt werden, dass für diese Anlagengrösse gemäss den neuen LRV-Bestimmungen von 1998 in dem Sinne keine Abgasgrenzwerte bestehen. Eine Aus-nahme bilden Sonderregelungen einzelner Kantone oder Massnahmenpläne der Luftreinhaltung (z.B. Stadt Zürich).

**2. Resultate Anlage Neukomm: BHKW mit 65 kW elektrischer Leistung
(Basis Dieselmotor)**

Die Anlage erfüllt die Erwartungen in allen Punkten.

Wirkungsgrad:

Die Anlage erreicht den angegebenen Wert vom BHKW-Lieferant bezüglich elektri-schem Wirkungsgrad. Im Vergleich zu anderen BHKW's in dieser Leistungsklasse (z.B. Ottomotoren im Biogasbereich, Wirkungsgrad el. 25 %) ist der elektrische Wirkungs-grad von 31.3 % als sehr gut zu bezeichnen. Die Erfassung vom thermischen Wirkungsgrad war im Messumfang der Anlage Neukomm nicht enthalten.

Service-, Unterhalts- und Reparaturkosten:

Die Bediener- und Servicefreundlichkeit kann als gut bezeichnet werden. Die Service-, Unterhalts- und Reparaturkosten belaufen sich auf 2.8 Rp. / kWhel. bei einer täglichen BHKW-Laufzeit von 10.9 Std. Dieser Wert liegt deutlich unter den Erwartungen von 3.5 Rp./kWhel.

Störungen / Reparaturen während dem Betrieb:

Während der Messperiode sind keine nennenswerten Störungen aufgetreten. Kleinere Reparaturen wie ein defekter Öldruckschalter oder lose Kabelschuhe konnten im Rahmen der "normalen" Störungsbehebung erledigt werden.

Abgaswerte:

Im Messumfang waren für das BHKW Neukomm keine Abgasmessungen vorgesehen. Um trotzdem einen Anhaltspunkt zu haben, stehen folgende Werte aus einer umfangreichen Messung aus Deutschland für dieses Motorenfabrikat zur Verfügung:
Gemessen: 489 mg NOx / m³ und 1208 mg CO / m³.

LRV-Grenzwert 98: 400 mg NOx / m³ und 650 mg CO / m³.

Aus Diskussionen mit Experten der Luftreinhaltung konnten wir entnehmen, dass die Werte toleriert werden, obwohl der CO-Wert überschritten wird. Dies deshalb, weil der CO-Wert nur eine kurzzeitige Belastung der Umwelt darstellt, da dieser sehr schnell zu CO₂ aufoxidiert wird. Begründet wird auch, dass diese Werte ohne Katalysatortechnik erreicht werden, da die Katalysatortechnik im Biogaseinsatz nur eine sehr kurze Standzeit aufweist, bedingt durch die Unreinheit vom Biogas.

Überlegungen aus gesamtwirtschaftlicher Sicht einer Kompakt-Biogasanlage:

Weil in der Schweiz (Stand 1999) im Gegensatz zu Deutschland ein grosser Unterschied zwischen den Stromrückliefertarifen im Bereich Hoch- und Niedertarif besteht, konzentriert sich die BHKW-Laufzeit auf den Hochtarifbereich. D.h. in der Schweiz werden Leistungstärkere BHKW eingesetzt, damit die gleiche Biogasmenge pro Tag, welche in Deutschland im 24 Std. Betrieb abgearbeitet würde, bei uns während der Strom-Hochtarifphase abgearbeitet werden kann.

Weiter hat sich gezeigt, dass aus gesamtwirtschaftlicher Sicht für eine Kompakt-Biogasanlage eine mindest Biogasmenge von ca. 300 m³ Biogas / Tag angestrebt werden sollte (siehe dazu auch die Grafik auf Seite 12).

Diese zwei wichtigen Punkte sowie die spezifisch wesentlich tieferen Service-, Unterhalts- und Reparaturkosten für ein grösseres BHKW führen dazu, dass zukünftig vorwiegend BHKW's mit einer elektrischen Leistung von mehr als 50 kW eingesetzt werden. Die Anlagenmehrkosten spielen dabei eine untergeordnete Rolle (siehe dazu auch die Grafik auf Seite 12).

Auswertung Anlage Renfer:

Ausgangslage: BHKW 22 kW el.: (Ersteinsatz bei einer neuen Biogasanlage):

Die Inbetriebnahme der neuen Biogasanlage im Winter 97 / 98 war mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Damit der Biogasprozess beginnen konnte, wurde das BHKW mit Heizöl betrieben, sodass die Fermentertemperatur von 35 ° C erreicht werden konnte. Dabei stellte sich heraus, dass bei tiefen Außentemperaturen die Wärmeverluste am Fermenter erheblich waren. Die Ursache lag darin, dass der Fermenter teilweise mit einer Innen- und teilweise mit einer Außenisolation versehen war. Dies hatte erhebliche Wärmebrücken und dementsprechende Wärmeverluste zur Folge. Mit dem Anlagenbauer wurde dann vereinbart, dass im Spätsommer der Fermenter saniert und komplett innenisoliert wurde, sodass die Wärmebrücken eliminiert werden konnten.

Im weiteren hat sich gezeigt, dass die Wärmeleistung des BHKW's nicht den Werksangaben entspricht. Zur Abhilfe wurde ein zusätzlicher Wärmetauscher in der Abgasleitung montiert. Ein längerer stabiler Prozess konnte demzufolge während der Messperiode nicht erreicht werden. Um dennoch eine Aussage machen zu können, wurden jeweils kürzere, "stabile" Phasen untersucht.

Messumfang gemäss Projektvorgabe:

- Erfassung elektrischer Wirkungsgrad (Biogasinput - Stromoutput).
- Erfassung der jährlichen Service- und Unterhaltskosten
- Erfassung des Betreuungsaufwandes
- Messung und Optimierung der Abgaswerte
- Erfassung der Gesamtwärmeleistung

Auswertung der Messperiode vom 10.1.98 - 1.2.99 (entspricht 385 Tagen):

1. Verarbeitete Biogasmenge	26621 m ³
1.1. Durchschnittliche Biogasmenge pro Tag	69 m ³
1.2. Durchschnittliche BHKW-Laufzeit pro Tag	6.1 Std.
1.3. Durchschnittliche Biogasverbrauch pro Std.	11.4 m ³
Umgerechnet auf die Normbedingungen (65 % Methan) und verglichen mit den Werksangaben entsteht eine Abweichung von 5 %. Angesichts des schwankenden Methangehalts entsprechen die gemessenen Werte in etwa den Werksangaben.	
1.4. Durchschnittlicher Methangehalt	57 %
1.5. Schwefelgehalt (Durchschnitt mehrerer Messungen)	195 ppm
1.6. Betriebsstunden BHKW	2200 Std.
2. Energieausbeute	
2.1. Produzierte Strommenge	48436 kWh
Durchschnittliche Strommenge pro Tag	126 kWh
2.2. Produzierte Wärmemenge	63847 kWh
2.1. Durchschnittliche Wärmemenge pro Tag	166 kWh
3. Heizölanteil (Zündölanteil) am Gesamtenergieinput	9 - 12 %
Damit der Heizölverbrauch erfasst werden konnte, wurden die Tanks ausgemessen und das Heizölniveau laufend erfasst. Dies hatte den Nachteil, dass längere Messintervalle notwendig waren, bevor festgestellt werden konnte, wie hoch der effektive Heizölanteil beim BHKW war und eine dementsprechende Korrektur vorgenommen werden konnte. Während der Messperiode wurden Werte zwischen 8 - 15 % ermittelt. Mehrheitlich liegt der Anteil bei 9 - 12 %. Anhand der jetzt bekannten Messwerte kann zukünftig bei Bedarf	

wöchentlich eine entsprechende Korrektur via LCD-Anzeige vorgenommen werden.

4. Wirkungsgrad		
4.1. Elektrischer Wirkungsgrad	28.5 %	
Stromertrag pro m3 Biogas (bei 57 % Methan, ohne Heizölanteil)	1.62 kWh / m3	
4.2. Thermischer Wirkungsgrad	37.5 %	
Wärmeertrag pro m3 Biogas (bei 57 % Methan, ohne Heizölanteil) Die Wärmeausbeute ist eher gering. Da in Deutschland der Unterschied zwischen Hoch und Niedertarif für die Stromrücklieferung relativ klein ist, werden diese Geräte meistens möglichst im 24 Std.-Betrieb eingesetzt. Dabei wird trotzdem soviel Wärme produziert, dass die Wärmeversorgung von Fermenter und Wohnhaus ausreicht. In der Schweiz kann dies bei reinem Hochtarif-Betrieb und kleinere Gasmenge ein Problem werden. Die Nutzung der Restabgaswärme sowie die Abstrahlungswärme (Verluste) mittels Wärmetauscher oder Wärmepumpe könnte den thermischen Nutzungsgrad steigern.	2.14 kWh / m3	
5. Erfassung der jährlichen Service- und Unterhaltskosten		
5.1. Servicearbeiten während der Messperiode		
- Oelwechsel alle 600 Std. => 3,66 Oelwechsel à 14 Liter à 4. -- Fr. / L.	205.00 Fr.	
- 3.66 Oelfilter à 10.-- Fr. / Stk.	36.60 Fr.	
- 1.2 Luftfilter à 35.--	42.70 Fr.	
- Arbeitsaufwand 5.5 Std. à 25.-- Fr./ Std. (landwirtschaftlicher Ansatz)	135.40 Fr.	
5.2. Unterhalt allgemein:		
- Neue Einstellungen vornehmen; Störungen beheben 14.5 Std. à 25.-- Fr./ Std.	362.50 Fr.	
5.3. Betreuungs- / Kontrollaufwand		
Durchschnittlich 5 Min. / Tag. = 32 Std. à 25.-- Fr./ Std.	802.00 Fr.	
Total der Pos. 5.1. - 5.3.		1584.30 Fr.
Umgerechnet entspricht der Aufwand von 1584.30 Fr. 3.2 Rp./kWh Strom. Dieser Aufwand stellt die Fixkosten (ohne Reparaturen) dar. Dazu muss gesagt werden, dass das BHKW durchschnittlich nur 6.1 Std pro Tag in Betrieb war. Wird zukünftig eine optimale Betriebszeit von 13.5 Std. pro Tag erreicht, reduziert sich der Aufwand von Pos. 5.1. - 5.3. auf 2.4 Rp / kWhel. (siehe dazu auch die Grafik Seite 9). Gemäss der Voruntersuchung "Kompakt-Biogasanlagen in der Landwirtschaft" wurde mit einem BHKW-Wartungsaufwand (Service und Unterhalt) von 3.5 Rp./kWh Strom gerechnet. Dies ergibt einen Differenzbetrag von 0.3 Rp. / kWh Strom. Dieser Betrag steht für allfällige BHKW-Reparaturen zur Verfügung und entspricht etwa 145.-- Fr./ Jahr. Da das BHKW neu war, konnte dieser Betrag nicht nachvollzogen werden. Aus der Erfahrung des BHKW-Lieferanten ist dieser Betrag um ca. 2.7 Rp./kWh zu tief (siehe dazu auch die Aufstellung Seite 13).		

6. Abgaswerte:

Da in Deutschland zur Zeit ein grösseres Messprojekt zur Optimierung der Abgaswerte "Optimierung der Abgasemissionen eines mit Biogas betriebenen Diesel-Gas-Motors" abgeschlossen wurde, welches genau diesen BHKW-Typ untersuchte, konnte auf eine Messung vor Ort verzichtet werden.

Die laufenden Erfahrungen aus dieser Untersuchung wurden bei der Anlage Renfer nach Möglichkeit direkt umgesetzt. So wurden bei der Anlage Renfer folgende Optimierungen vorgenommen:

- Nachbearbeitung der Kolbenböden zur Senkung der thermischen Belastung vom Motor
- Zündölanteil möglichst gering (Senkung NOx-Ausstoss)
- Möglichst kühle Luftzufuhr für den Ladeluftkühler (Senkung Verbrennungstemp.)

Die Untersuchung, welche auch vom Land Baden-Württemberg getragen wurde, zeigt, entgegen den Erwartungen, dass der BHKW-Typ (22 / 28 kWel.) erhöhte Abgaswerte aufweist. Dies ist erstaunlich, weil es sich bei diesem Motor um einen völlig neu entwickelten Typ handelt und andere Fabrikate (z.B. Perkins) mit einem bewährten Typ tiefere Werte erreichen. Die nachstehende Tabelle zeigt zwei Messergebnisse (Deutz- / Perkins-Motor) aus dieser Untersuchung.

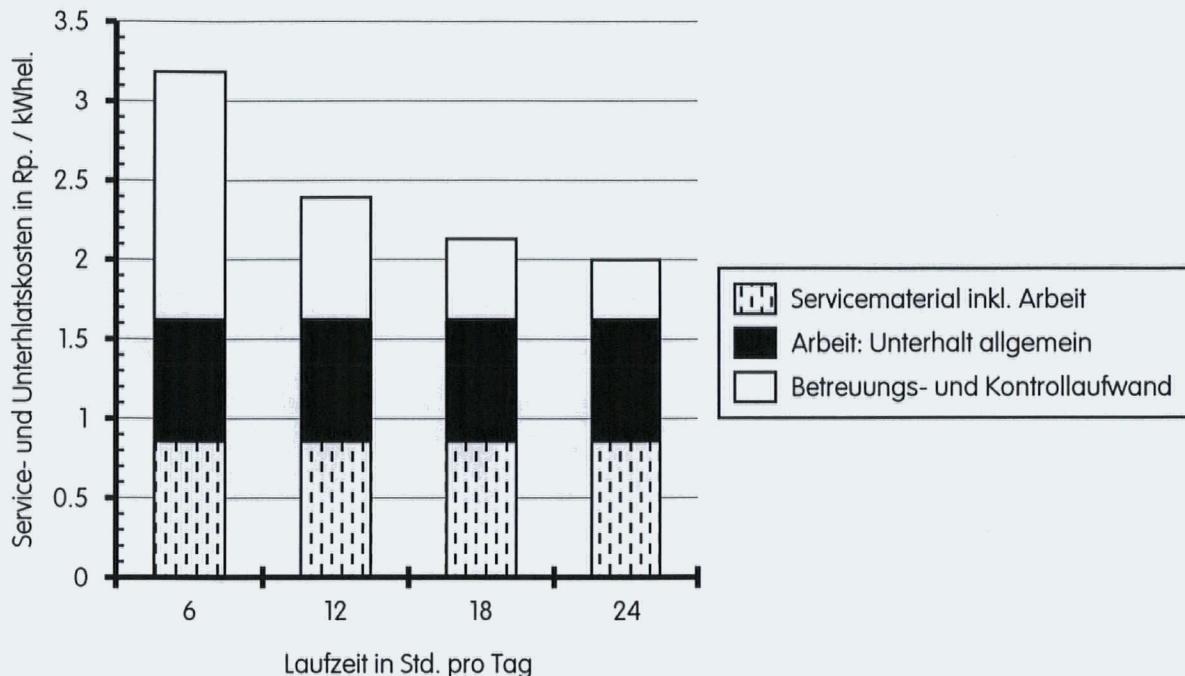
Motortyp.	Cofermentation	Substrat	Elektrische L. in kW	Methangehalt im Biogas in %	H2S - Gehalt des Biogases in ppm	NOx in mg/m³	CO in mg/m³	SO2 in mg/m³	Russzahl	O2 in %	Lambda
Gemessene Werte:											
Deutz-Motor	ohne	Rindergülle	22/28	55	20	1373	1123	0	7	7.4	1.55
Perkins-Motor	mit	Rindergülle und 10% Rasenschnitt	37	53	20	431	1065	6	8	6.9	1.5
Gerechnete Werte auf 5 % O2 bezogen:											
Deutz-Motor	ohne	Rindergülle	22/28			1615	1321			5	
Perkins-Motor	mit	Rindergülle und 10% Rasenschnitt	37			489	1208			5	

Bemerkungen zur Grafik:

Dazu muss erwähnt werden, dass für die Anlagengrösse (22 / 28 kWel.) gemäss den neuen LRV-Bestimmungen von 1998 in dem Sinne keine Abgasgrenzwerte bestehen. Eine Ausnahme bilden Sonderregelungen einzelner Kantone oder Massnahmenpläne der Luftreinhaltung (z.B. Stadt Zürich).

Weitere Abgasoptimierungsversuche in Deutschland haben bis heute keine Verbesserung erbracht.

Service- und Unterhaltskosten in Abhängigkeit der täglichen BHKW-Laufzeit



Bemerkung zur Grafik:

Die Grundlage der Grafik bildet die entsprechende Messperiode. Während der Messperiode wurde eine **durchschnittliche BHKW-Laufzeit von 6.1 Std. / Tag** erreicht. Somit entspricht die grafische Darstellung mit einer Laufzeit von 6 Std./ Tag den tatsächlichen Messwerten. Diese Laufzeit kann als tief bezeichnet werden. Anzustreben sind Laufzeiten im Bereich 10 -15 Std./Tag. Die Balkendiagramme mit 12, 18 und 24 Std. Laufzeit wiederspiegeln abgeleitete Werte. Dabei zeigt sich, dass nur der Betreuungs- und Kontrollaufwand sich in Abhängigkeit der Laufzeit ändert. Die andern zwei Bereiche bleiben relativ konstant. Geringfügige Veränderungen in diesen zwei Bereichen sind möglich, wenn z. B. das Servicematerial(Mengenrabatt) bei erhöhter Laufzeit günstiger eingekauft werden kann. Vergleicht man jedoch diese Service- und Unterhaltskosten mit anderen wichtigen betriebswirtschaftlichen Faktoren so genügt diese Genauigkeit.

Vergleicht man die zur Zeit erreichte Laufzeit mit evtl. erhöhten Laufzeiten 12/18 Std. so ergibt sich eine Einsparung von 0.78 Rp./kWh el.resp. 1.04 Rp./kWhel. gerechnet auf einen entsprechenden Jahresertrag von 96360 kWh resp. 144540 kWh Strom ergibt sich eine Einsparung von 750.-- Fr./Jahr resp. 1445.-- Fr./Jahr. Der Quervergleich unterschiedlicher BHKW-Laufenzeiten zeigt, dass ein Einsparpotential gegeben ist. Sind die Stromrückliefertarife für den Hoch- und Niedertarifbereich in etwa gleich (z.B. wie in Deutschland), so kann die spezifische Service- und Unterhaltskostensenkung im 18 und 24 Std.-Betrieb sinnvoll genutzt werden. Für die Schweiz ist ein 18 oder 24 Std. Betrieb nicht sinnvoll.

Reparaturkosten für das BHKW:

Da die Rep.-Kosten pro kWh Strom angegeben werden und diese einen Mittelwert über die Lebensdauer vom BHKW darstellen, ist es bei Neuanlagen nicht möglich diese zu erfassen. Es kann lediglich festgestellt werden, ob im ersten Betriebsjahr bereits grössere Reparaturen angefallen sind und diese allenfalls dazu führen, dass der Mittelwert bereits im ersten Jahr überschritten wird. Im ersten Betriebsjahr sind keine nennenswerten Reparaturkosten entstanden (siehe Auflistung im Kap. Zusammenfassung). Für die Beurteilung wurden deshalb ausschliesslich die Erfahrungswerte vom BHKW-Hersteller verwendet. Die durchschnittlichen **Reparaturkosten** betragen zusätzlich zu den Service- und Unterhaltskosten **3 Rp./kWhel.**(gemäss Angabe Hersteller). Diese Kosten sind jedoch in sehr starkem Masse von der Gasqualität und einer guten Servicearbeit abhängig.

Auswertung Anlage Neukomm:

Ausgangslage: BHKW 65 kW el.: (Ersatz 2 bestehender Geräte):

Intensive Vorabklärungen hatten ergeben, dass für die Biogasanlage Neukomm das geplante BHKW mit 45 kWel (gemäss Angaben im Messprojekt) zu klein war. Herr Neukomm hatte sich deshalb entschlossen ein BHKW mit 65 kWel. einzusetzen. Dies hatte zur Folge, dass an Stelle von einem 4 Zylinder Gerät, ein 6 Zylinder Gerät der gleichen Baugruppe zum Einsatz gekommen ist.

Messumfang gemäss Projektvorgabe:

- Erfassung elektrischer Wirkungsgrad (Biogasinput - Stromoutput)
- Erfassung der jährlichen Service- und Unterhaltskosten
- Erfassung des Betreuungsaufwandes

Auswertung der Messperiode vom 1.3.98 - 28.2.99 (entspricht 365 Tagen):

1. Verarbeitete Biogasmenge	137383 m3
1.1. Durchschnittliche Biogasmenge pro Tag	376 m3
1.2. Durchschnittliche BHKW-Laufzeit pro Tag	10.9 Std.
1.2.1. Durchschnittliche Leistung	65.9 kWel.
1.3. Durchschnittliche Biogasverbrauch pro Std. Umgerechnet auf die Normbedingungen (65 % Methan) und verglichen mit den Werksangaben (Biogasverbrauch pro/Std.) entsteht eine Abweichung von 7 %. Angesichts des schwankenden Methangehaltes während der Messperiode entsprechen die gemessenen Werte in etwa den Werksangaben.	34.48 m3
1.4. Durchschnittlicher Methangehalt	54 %
1.5. Durchschnittlicher Schwefelgehalt (tägliche Messwerte) Der sehr tiefe Schwefelgehalt ist erfreulich und ermöglicht bezüglich Serviceintervall am BHKW eine Verlängerung. Anhand von einer Oelanalyse konnte festgestellt werden, dass der Serviceintervall von heute 600 Betriebsstunden auf 800 Std. erhöht werden kann. Damit im Bericht eine allgemeine Aussagekraft erhalten bleibt, wurde in der nachfolgenden Betrachtung der Serviceintervall von 600 Std. beibehalten.	23 ppm
1.6. Betriebsstunden BHKW	3984 Std.
2. Produzierte Strommenge	262441 kWh
2.1. Durchschnittliche Strommenge pro Tag	719 kWh
3. Heizölanteil (Zündölanteil) am Gesamtenergieinput Zur Erfassung der Heizölmengen wurde ein Durchflusszähler eingesetzt. Aufgrund der kleinen Durchflussmenge war eine Messungenauigkeit entstanden, sodass die Zählerablesung für die Auswertung nur mit Vorbehalt verwendet werden konnte. Damit der Heizölverbrauch trotzdem erfasst werden konnte, wurden die Tanks ausgemessen und das Heizölniveau laufend erfasst. Dies hatte den Nachteil, dass längere Messintervalle notwendig waren, bevor festgestellt werden konnte, wie hoch der effektive Heizölanteil beim BHKW war. Während der Messperiode im ersten Halbjahr wurden	8 - 9 %

Werte zwischen 8 - 12 % ermittelt. Mehrheitlich lag der Anteil bei 9 - 11 %.

Um den Heizölanteil im zweiten Halbjahr deutlich unter die 10 % Marke zu senken, wurde eine Versuchsdauer von 500 Betriebstunden festgelegt. Während dieser Periode wurde das BHKW mit einem Anteil von 7 - 8 % betrieben. Dabei bestand die Gefahr, dass die Einspritzdüsen "verkoksen" und der Motor nicht mehr richtig funktioniert. Der Versuch hat gezeigt, dass die zur Zeit verwendeten Einspritzdüsen im Bereich 8 - 9 % Heizölanteil ohne ausserordentliche Störungen betrieben werden können.

4.	Elektrischer Wirkungsgrad	31.3 %
4.1.	Stromertrag pro m ³ Biogas (bei 54 % Methan, ohne Heizölanteil)	1.74 kWh / m ³
	Gegenüber der Angabe vom Anlagen-Lieferant liegt der Ertrag um 5.5 % höher	
	Gegenüber der alten Lösung (2 Totems) liegt der Ertrag um 54 % höher	
5.	Erfassung der jährlichen Service- und Unterhaltskosten	
5.1.	Servicearbeiten während der Messperiode:	
	- Oelwechsel alle 600 Std. => 6.6 Oelwechsel à 15 Liter à 4. -- Fr. / L.	398.40 Fr.
	- 13 Nebenstromfilter à 11.25.-- Fr. / Stk.	146.25 Fr.
	- 13 Oelfilter à 14.-- Fr. / Stk.	182.00 Fr.
	- 2 Luftfilter à 64.-- Fr. / Stk.	128.00 Fr.
	- Arbeitsaufwand 7.5 Std. à 25.-- Fr./ Std. (landwirtschaftlicher Ansatz)	187.50 Fr.
5.2.	Unterhalt allgemein:	
	- Neue Einstellungen vornehmen; Störungen beheben 15.5 Std. à 25.-- Fr./ Std.	387.50 Fr.
5.3.	Betreuungs- / Kontrollaufwand Durchschnittlich 5 Min. / Tag. = 30.4 Std. à 25.-- Fr./ Std.	760.00 Fr.

Total der Pos. 5.1. - 5.3. 2189.65 Fr.

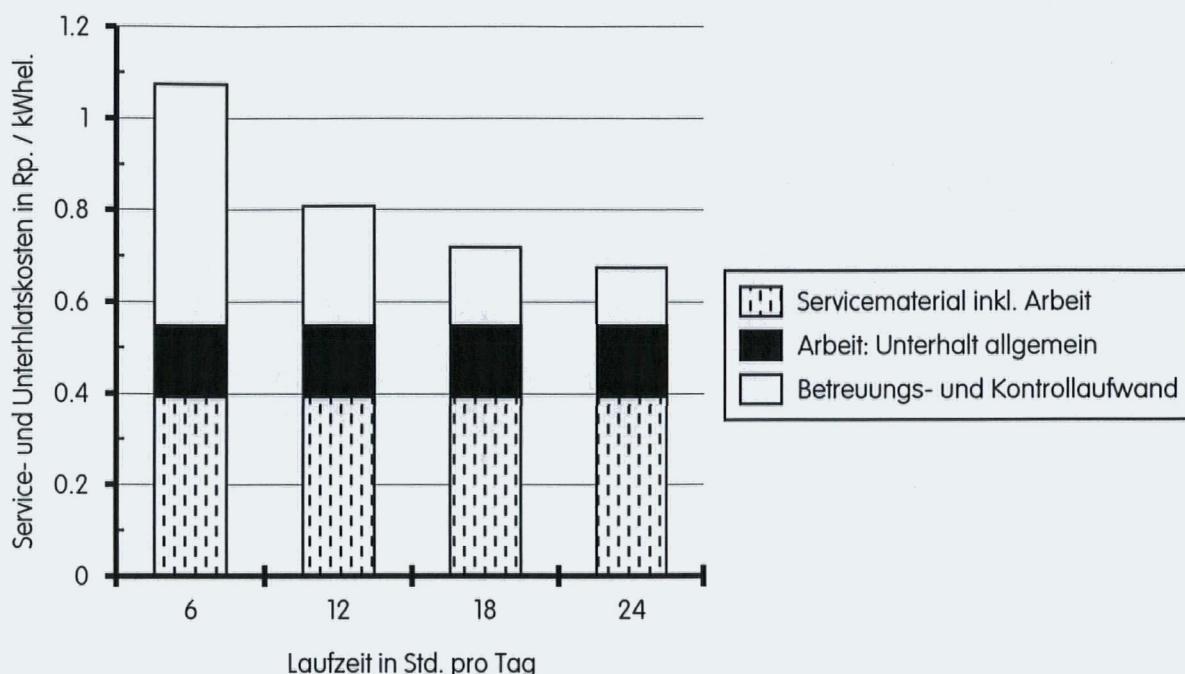
Umgerechnet entspricht der Aufwand von 2189.65 Fr. 0.083 Rp./kWh Strom. Dieser Aufwand stellt die Fixkosten (ohne Reparaturen) dar.

Gemäss der Voruntersuchung "Kompakt-Biogasanlagen in der Landwirtschaft" wurde mit einem BHKW-Wartungsaufwand (Service und Unterhalt) von 3.5 Rp./kWh Strom gerechnet. Dies ergibt einen Differenzbetrag von 2.66 Rp. / kWh Strom. Dieser Betrag steht für allfällige BHKW-Reparaturen zur Verfügung und entspricht etwa 7000.-- Fr./ Jahr. Da das BHKW neu war, konnte dieser Betrag nicht nachvollzogen werden. Aus der Erfahrung des BHKW-Lieferanten ist dieser Betrag um ca. 0.66 Rp./kWh zu hoch (siehe dazu auch die Grafik Seite 12).

Zusammenfassung:

Die Anlage übertrifft die gesteckten Ziele und ist zudem bediener- und servicefreundlich. Im Vergleich zu bestehenden Lösungen (BHKW's) in landwirtschaftlichen Biogasanlagen kann mit diesem BHKW-Typ eine wesentliche Optimierung erreicht werden. Bei einem Jahresertrag von 262441 kWh Strom und einem durchschnittlichen Rückliefertarif von 18 Rp. / kWh ergibt sich ein Bruttoertrag von 47239.-- Fr./Jahr (netto 38054.-- Fr.).

Service- und Unterhaltskosten in Abhängigkeit der täglichen BHKW-Laufzeit



Bemerkung zur Grafik:

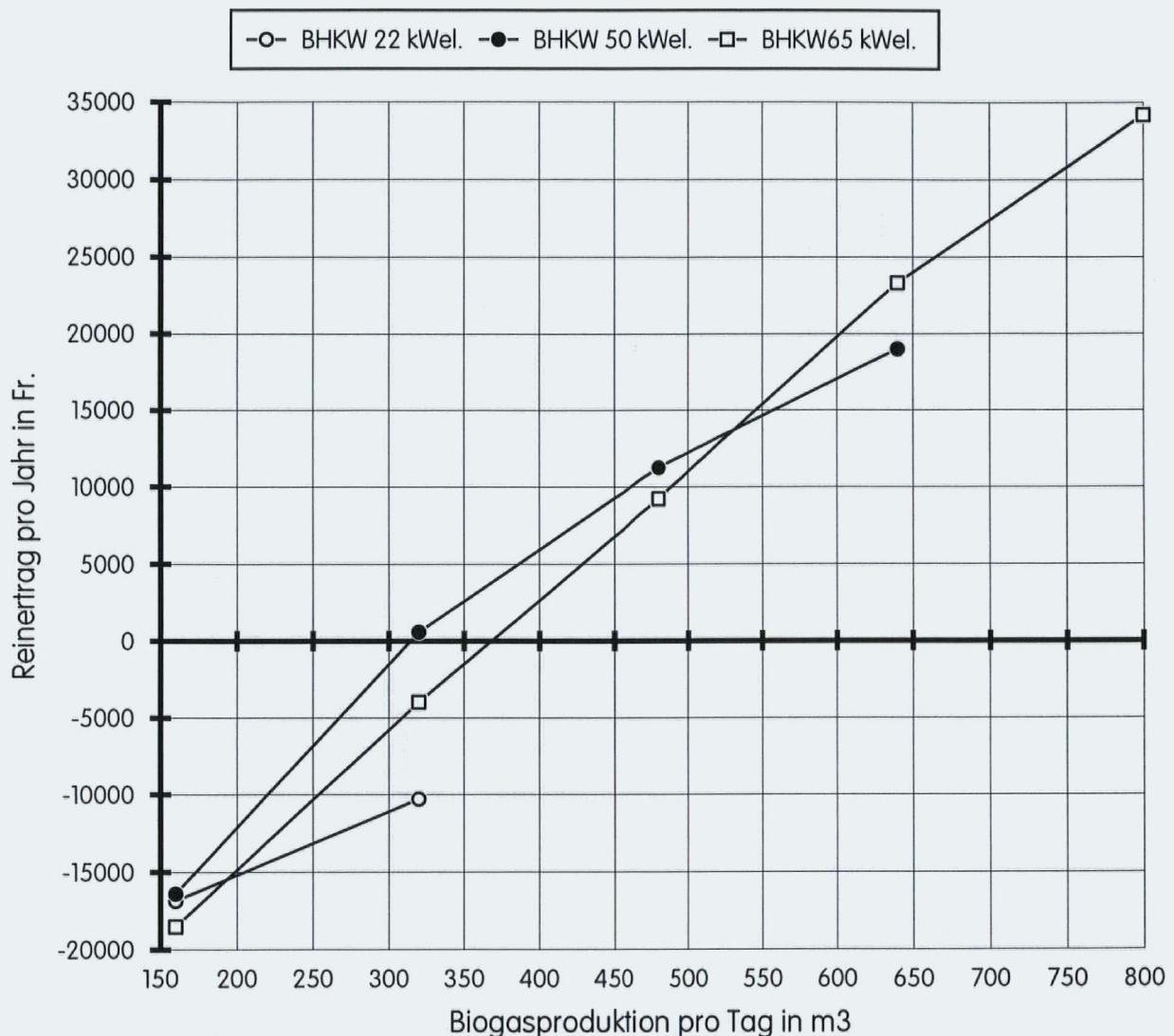
Die Grundlage der Grafik bildet die entsprechende Messperiode. Während der Messperiode wurde eine **durchschnittliche BHKW-Laufzeit von 10.9 Std. / Tag** erreicht. Somit entspricht die grafische Darstellung mit einer Laufzeit von 12 Std./ Tag den tatsächlichen Messwerten. Die Balkendiagramme mit 6, 18 und 24 Std. Laufzeit wiederspiegeln abgeleitete Werte. Dabei zeigt sich, dass nur der Betreuungs- und Kontrollaufwand sich in Abhängigkeit der Laufzeit ändert. Die andern zwei Bereiche bleiben relativ konstant. Geringfügige Veränderungen in diesen zwei Bereichen sind möglich, wenn z. B. das Servicematerial(Mengenrabatt) bei erhöhter Laufzeit günstiger eingekauft werden kann. Vergleicht man jedoch diese Service- und Unterhaltskosten mit anderen wichtigen betriebswirtschaftlichen Faktoren so genügt diese Genauigkeit.

Vergleicht man die zur Zeit erreichte Laufzeit mit evtl. erhöhten Laufzeiten so ergibt sich eine Einsparung von 0.089 Rp./kWh el.resp. 0.133 Rp./kWhel. gerechnet auf einen entsprechenden Jahresertrag von 427000 kWh resp. 569000 kWh Strom ergibt sich eine Einsparung von 380.-- Fr./Jahr resp. 740.-- Fr./Jahr. Der Quervergleich unterschiedlicher BHKW-Laufenzeiten zeigt, dass der Einfluss bezüglich Steigerung, Optimierung der Gesamt-wirtschaftlichkeit einer Kompakt-Biogasanlage dadurch nur gering beeinflusst wird.

Reparaturkosten für das BHKW:

Da die Rep.-Kosten pro kWh Strom angegeben werden und diese einen Mittelwert über die Lebensdauer vom BHKW darstellen, ist es bei Neuanlagen nicht möglich diese zu erfassen. Es kann lediglich festgestellt werden, ob im ersten Betriebsjahr bereits grössere Reparaturen angefallen sind und diese allenfalls dazu führen, dass der Mittelwert bereits im ersten Jahr überschritten wird. Im ersten Betriebsjahr sind keine nennenswerten Reparaturkosten entstanden (siehe Auflistung im Kap. Zusammenfassung). Für die Beurteilung wurden deshalb ausschliesslich die Erfahrungswerte vom BHKW-Hersteller verwendet. Die durchschnittlichen **Reparaturkosten** betragen zusätzlich zu den Service- und Unterhaltskosten **2 Rp./kWhel.**(gemäss Angabe Hersteller). Diese Kosten sind jedoch in sehr starkem Masse von der Gasqualität und einer guten Servicearbeit abhängig.

**Wirtschaftlichkeit einer Kompakt-Biogasanlage
in Abhängigkeit der Biogasmenge pro Tag sowie dem BHKW-Typ**



Bemerkung zur Grafik:

Die Darstellung zeigt ganz klar, dass das 22 kWel. BHKW nur bei kleiner Biogasproduktion eingesetzt werden kann. Selbst dann ist die Wirtschaftlichkeit gegenüber den Vergleichstypen nur in einem Fall leicht besser und im anderen Fall sogar bereits leicht schlechter. Die Hauptursache liegt darin, dass die Service- und Reparaturkosten beim 22 kW BHKW spezifisch wesentlich höher liegen und dass die durchschnittliche Vergütung für den produzierten Strom bei einer Biogasproduktion von mehr als 200 m³ pro Tag für ein 22 kW BHKW wesentlich tiefer liegt, als Vergleichsweise beim 50 oder 65 kW-BHKW (bessere Nutzung des HT-Bereiches).

Fazit:

Soll eine Anlage wirtschaftlich betrieben werden können, so muss eine Biogasproduktion von mehr als 300 m³ / Tag erreicht werden. Dies hat zur Folge, dass dann das 22 kW-Gerät nicht mehr eingesetzt werden kann. Betrachtet man den Bau von neuen Biogasanlagen in der Praxis wird dies klar bestätigt.

Grundlagen zur Grafik siehe nächste Seite:

Grundlagen zur Grafik auf Seite 13:

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde eine Kompakt-Biogasanlage mit 300 m³ Fermenter und 100 m³ Gasspeicher verwendet. Bei dieser Anlagengrösse können alle 3 BHKW-Typen sinnvoll eingesetzt werden.

Da für die Gasspeicherung während der Nacht auch für Kleinanlagen ein Gasspeichervolumen von mindestens 80 m³ notwendig ist und dies nur mit einem Fermenter mit 9 Meter Durchmesser erreicht werden kann, sollte auch die Fermentergrösse für Kleinanlagen nicht wesentlich kleiner gewählt werden. Zudem ist der Entschwefelungseffekt im Biogas bei einer längeren Verweilzeit des Biogases im Gasspeicher und einer genügend grossen Oberfläche zwischen Gülle und Gasraum wesentlich besser. Dies hat einen direkten Einfluss auf die Erhöhung der Lebensdauer vom BHKW und zur Senkung der Schwefelemissionen im Abgas. Berechnungen haben gezeigt, dass eine erhöhte Lebensdauer vom BHKW und ein vorwiegender BHKW-Betrieb während der Strom-Hochtarifzeit (nur möglich bei genügendem Gasspeicher) die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlage wesentlich beeinflussen. Diese positiven Effekte und weitere Vorteile (stabiler Betrieb vom Fermenter, gute Ausgasung der Gülle und wenn notwendig z.T. Endlagerkapazität im Fermenter) führen dazu, dass in der Praxis auch bei kleineren BHKW's eine mindest Fermentergrösse von 300 m³ sich durchsetzen wird.

Da nun dieser Kompakt-Biogasanlagetyp (300 m³ Fermenter und 100 m³ Gasspeicher) mit allen drei BHKW-Typen sinnvoll betrieben werden kann, wurden bei den Investitionen jeweils nur die Investitionen für den entsprechenden BHKW-TYP angepasst.

Da der Gasspeicher nicht für alle BHKW-Typen ideal ist, musste beim durchschnittlichen Stromrückliefertarif zum Teil eine Anpassung vorgenommen werden. Dies war notwendig, da der Gasspeicher ab einer bestimmten Gasproduktion zu klein ist und das BHKW den Überschuss nachts verwerten muss. Würde die Gasspeicherung entsprechend angepasst werden, könnte die Wirtschaftlichkeit für die BHKW-Typen 50 und 65 kWel. im Bereich 400 - 600 m³ / Tag weiter verbessert werden.

Damit mehr Aussagen gemacht werden können, wurde noch ein zusätzlicher BHKW-Typ (50 kWel.) miteinbezogen

Abschreibungsdauer ganze Anlage	10 Jahre
Verzinsung	5 % (0.13)

Service- und Unterhaltkosten (gemäss Grafik Seite 8 und 12)

22 kWel.	2.0 - 2.4 Rp./kWhel.
50 kWel.	0.7 -1.0 Rp./kWhel.
65 kWel.	0.7 -1.0 Rp./kWhel.

(Für das 50 kW BHKW wurden die Werte vom 65 kW BHKW übernommen)

Reparaturkosten: (Erfahrungswert)

22 kWel.	3.0 Rp./kWhel.
50 kWel.	2.2 Rp./kWhel.
65 kWel.	2.0 Rp./kWhel.

Stromrückliefertarife: (übliche Werte für die Schweiz 1999)

Hochtarif Bereich 14 Std. pro Tag; 7 Tage in der Woche

HT Winter :	23.0 Rp./kWh
NT Winter :	12.0 Rp./kWh
HT Sommer :	16.0 Rp./kWh
NT Sommer :	8.0 Rp./kWh

Wirkungsgrad BHKW entsprechend der Messresultate

Ebenfalls wurde die Wartung und der Arbeitsaufwand für die Gesamtanlage berücksichtigt (Erfahrungswert / Schätzwert).