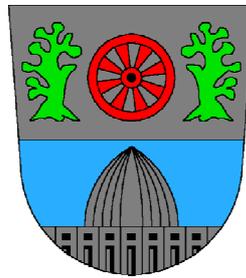


BAUHERR:

# Stadtwerke Garching

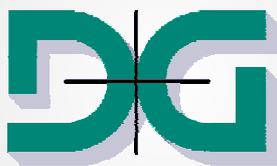
Landkreis München



## STUDIE zur Optimierung der Klärgasverwertung der Kläranlage Garching 31.000 EW

25. Juni 2009

ABWASSERBESEITIGUNG \* WASSERVERSORGUNG \* STRASSENBAU \* UMWELTECHNIK



**DIPPOLD & GEROLD**

Beratende Ingenieure GmbH

Tel.: 089/8941430 \* Fax.: 089/89414334

Sembdnerstraße 7 \* 82110 Germering

E-Mail: [info@ib-dug.de](mailto:info@ib-dug.de) \* <http://www.ib-dug.de>

GERMERING \* PRIEN AM CHIEMSEE \* DILLINGEN AN DER DONAU

**Stadtwerke Garching  
Landkreis München  
Optimierung der Klärgasverwertung  
Projekt Nr. 11 392**

**STUDIE  
zur  
Optimierung der Klärgasverwertung  
der Kläranlage Garching 31.000 EW**

**Aufgestellt: Josef Waldinger Dipl. Ing. (FH)  
Germering, 25. Juni 2009  
wa**

.....  
**Dippold und Gerold  
Beratende Ingenieure GmbH**

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>VORHABENSTRÄGER.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ZWECK DES VORHABENS .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>BESTEHENDE VERHÄLTNISSE .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>KLÄRGASVERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN .....</b>	<b>4</b>
4.1	Blockheizkraftwerke .....	4
4.1.1	<i>Beschreibung</i> .....	4
4.1.2	<i>Bemessung</i> .....	4
4.2	Mikrogasturbinen .....	5
4.2.1	<i>Beschreibung</i> .....	5
4.2.2	<i>Bemessung</i> .....	7
4.3	Brennstoffzellen .....	7
4.3.1	<i>Beschreibung</i> .....	7
4.4	Stirlingmotoren.....	9
4.4.1	<i>Beschreibung</i> .....	9
<b>5</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG .....</b>	<b>12</b>
5.1	Grundlagen der dynamischen Kostenvergleichsrechnung (KVR) nach LAWA. 12	
5.1.1	<i>Allgemeines</i> .....	12
5.1.2	<i>Prinzip der Realbewertung</i> .....	12
5.1.3	<i>Realzins</i> .....	12
5.1.4	<i>Reale Preissteigerung</i> .....	13
5.1.5	<i>Untersuchungszeitraum</i> .....	13
5.1.6	<i>Sensibilitätsprüfung</i> .....	14
5.2	Einspeisevergütung .....	14
5.2.1	<i>Vergütungsmöglichkeiten</i> .....	14
5.2.1.1	Erneuerbare-Energien-Gesetz .....	15
5.2.1.2	Stromsteuergesetz.....	15
5.2.1.3	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG).....	16
5.2.2	<i>Stromkosten</i> .....	18
5.3	Variantenberechnung .....	18
5.3.1	<i>Variante 1: Generalüberholung des vorhandenen BHKWs</i> .....	18
5.3.1.1	Strom- und Wärmemengen.....	18
5.3.1.2	Eigenverbrauch des BHKW Stromes .....	19
5.3.1.3	Vergütung des BHKW Stromes nach dem EEG .....	19
5.3.1.4	Vergütung des BHKW Stromes nach dem KWKG-Gesetz .....	19
5.3.1.5	Ergebnisse.....	19
5.3.1.6	Investitions- und Betriebskosten .....	20

5.3.2	<i>Variante 2 Erneuerung BHKW-Anlage, elektrische Leistung bis 50 kW</i> .....	20
5.3.2.1	Strom- und Wärmemengen.....	20
5.3.2.2	Eigenverbrauch des KWK-Stroms .....	20
5.3.2.3	Vergütung des KWK-Stroms nach dem EEG.....	20
5.3.2.4	Vergütung des BHKW Stromes nach dem KWK-Gesetz .....	21
5.3.2.5	Ergebnisse.....	21
5.3.2.6	Investitionskosten BHKW mit 50 kW elektrischer Leistung .....	21
5.3.3	<i>Variante 3 Erneuerung BHKW Anlage, elektrische Leistung bis 60 kW</i> .....	22
5.3.3.1	Vergütung des KWK-Stroms nach dem KWK-Gesetz.....	22
5.3.3.2	Ergebnisse.....	22
5.3.3.3	Investitionskosten BHKW mit 60 kW elektrischer Leistung .....	23
5.3.4	<i>Variante 4: Neubau einer Microgasturbine</i> .....	23
5.3.4.1	Strom- und Wärmemengen.....	23
5.3.4.2	Eigenverbrauch des KWK-Stroms .....	23
5.3.4.3	Vergütung des KWK-Stroms nach dem EEG.....	23
5.3.4.4	Vergütung des KWK-Stroms nach dem KWK-Gesetz.....	24
5.3.4.5	Ergebnisse.....	24
5.3.4.6	Investitionskosten Microgasturbine .....	24
5.4	Ergebnis der Kostenvergleichsrechnungen.....	25
5.4.1	<i>Kostenvergleichsrechnung gemäß Annahmen</i> .....	25
5.4.2	<i>Änderung des Zinssatzes</i> .....	26
5.4.3	<i>Ansatz einer Preissteigerungsrate</i> .....	26
5.4.4	<i>Änderung der Investitionskosten</i> .....	27
5.4.5	<i>Änderung der Betriebskosten</i> .....	28
5.4.6	<i>Wartungskosten analog zum Bestand</i> .....	28
5.5	Bewertung und Handlungsbedarf .....	29

## **Anlage 1 Einspeisevergütungsvarianten**

## **Anlage 2 Zusammenstellung der Wirtschaftlichkeitsberechnung**

## 1 **Vorhabensträger**

Die Stadt Garching b. München betreibt die Abwasserbeseitigung seit dem 1. Januar 1996 in Form eines Eigenbetriebes (Stadtwerke Garching). Vorhabensträger für die Erweiterung der Kläranlage Garching sind die Stadtwerke Garching, Rathausplatz 3, 85748 Garching bei München, Landkreis München.

## 2 **Zweck des Vorhabens**

Die Kläranlage betreibt seit Oktober 1999 ein Blockheizkraftwerk zur Verstromung des beim Faulungsprozess entstehenden Klärgases. Die Leistung des BHKWs hat deutlich nachgelassen, das BHKW läuft nicht mehr betriebssicher und muss saniert oder erneuert werden. Mit dieser Studie werden Alternativen zum BHKW aufgezeigt und unterschiedliche Vergütungsvarianten untersucht.

## 3 **Bestehende Verhältnisse**

Die Kläranlage Garching wurde in den vergangenen Jahren modernisiert und auf eine Ausbaugröße von 31.000 EW ausgebaut. Die mittlere Kläranlagenbelastung liegt bei 24.000 Einwohnern.

Der bei der Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm mit rund 11.000 m<sup>3</sup> pro Jahr wird im Faulbehälter anaerob stabilisiert. Dabei werden rund 193.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas pro Jahr erzeugt. Zur Bewirtschaftung von Tageschwankungen verfügt die Kläranlage über einen Hochdruckgasbehälter mit einem Volumen von 50 m<sup>3</sup> und einem maximalen Betriebsdruck von 10 bar sowie einen Niederdruckgasbehälter als Arbeitsspeicher mit einem Betriebsdruck von 35 mbar und einem Volumen von 100 m<sup>3</sup>.

Im Oktober 1999 wurde ein BHKW der Firma Lemkers mit einer elektrischen Leistung von 60 kW, einer thermischen Leistung von 120 kW und einer Gesamtfeuerungsleistung von 170 kW in Betrieb genommen. Mit dem BHKW werden jährlich rund 183.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas verstromt und damit 270.000 kWh elektrische Energie erzeugt. Die restlichen 10.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas werden im Heizkessel verbrannt. Mit den 270.000 kWh Strom werden gleichzeitig rechnerisch 540.000 kWh thermische Energie erzeugt, die zur Faulbehälter- und Gebäudeheizung verwendet werden. Überschüssige Wärme in den Sommermonaten wird über einen Notkühler abgeführt.

Der Energieinhalt von Klärgas beträgt rund 6,5 kWh/Nm<sup>3</sup>. Die im BHKW verfeuerte Jahresenergiemenge des Klärgases beträgt 1.190.000 kWh. Der Jahreswirkungsgrad des BHKWs liegt bei 22,6 %. Der Jahreswirkungsgrad ist relativ niedrig, moderne BHKWs erreichen elektrische Wirkungsgrade von 30 – 33 %.

## **4 Klärgasverwertungsmöglichkeiten**

### **4.1 Blockheizkraftwerke**

#### **4.1.1 Beschreibung**

Mit einem Blockheizkraftwerk wird ein Generator von einem Verbrennungsmotor angetrieben und Strom erzeugt. Als Verbrennungsmotoren kommen in der Regel Gasotomotoren zum Einsatz. Die Verbrennungswärme des Motors wird mittels eines Kühlkreislaufs dem Motorblock und dem Abgassammelrohr sowie den Abgaswärmetauscher entzogen und über einen Plattenwärmetauscher der Heizungsanlage zugeführt. In der Regel sind die Aggregate in Kompaktbauweise ausgeführt, Motor und Generator sind auf einem Grundrahmen zusammengebaut und mit einer Schall- und Wärmedämmhaube gekapselt.

Blockheizkraftwerke erreichen elektrische Wirkungsgrade von 30 – 33 % und thermische Wirkungsgrade von 55 – 60 %.

Der Wartungsaufwand von Blockheizkraftwerken ist relativ hoch. Unter anderem müssen regelmäßig Öl und Zündkerzen gewechselt werden. Vollwartungsverträge mit den Herstellern belaufen sich auf ca. 0,80 € pro Betriebsstunde.

#### **4.1.2 Bemessung**

Der Energieinhalt des jährlichen Gasanfalls beträgt 1.255.000 kWh/a.

Es werden folgende zwei Varianten betrachtet:

##### ***elektrische Leistung 50 kW:***

Das BHKW wird auf eine elektrische Leistung mit 50 kW ausgelegt. Damit fällt es nach dem KWKG-Gesetz in die Anlagenkategorie mit der höchsten Vergütungsmöglichkeit. Die rechnerische Betriebszeit beträgt 7.500 Stunden pro Jahr bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 30 %. Die Anlage wird mit einem Notkühler ausgestattet, sowie mit Wärmemengenzähler zur Erfassung der erzeugten und der rückgekühlten Wärmemengen.

**elektrische Leistung 60 kW:**

Das BHKW wird auf eine Laufzeit von ca. 6.500 Betriebsstunden pro Jahr ausgelegt. Damit verfügt die Anlage über mehr Reserven. Die Anlage wird mit einem Notkühler ausgestattet, sowie mit Wärmemengenzähler zur Erfassung der erzeugten und der rückgekühlten Wärmemengen.

**4.2 Mikrogasturbinen****4.2.1 Beschreibung**

Mikrogasturbinen sind Einwellenmaschinen, bei denen Generator, Verdichter und Turbine auf einer Welle befestigt sind. Die Welle dreht sich mit bis zu 96.000 U/min. Die Welle ist luftgelagert und arbeitet ohne Schmierstoffe, was Serviceintervalle und Wartungskosten um ein wesentliches reduziert. Mikrogasturbinen benötigen kein Kühlwasser, was zusammen mit dem Verzicht auf Schmierstoffe eine Platz sparende und kompakte Bauweise ermöglicht.

Ein wichtiger Unterschied zu den in Großkraftwerken eingesetzten Gasturbinen ist der Rekuperator, ein Wärmetauscher in dem die komprimierte Verbrennungsluft durch die heißen Abgase der Turbine vorgewärmt wird. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Mikrogasturbine erhöht.

Die Verbrennungsluft tritt über den Generator in die Mikrogasturbine ein und kühlt diesen dabei. Anschließend wird die Luft im Radialverdichter auf etwa 4 bar komprimiert. Im Rekuperator wird sie durch die heißen Abgase vorgewärmt. In der Brennkammer kommt der Brennstoff hinzu und wird gezündet. Die heißen Verbrennungsgase werden in der Turbine entspannt und treiben so Verdichter und Generator an. Nachdem die Abgase einen Teil ihrer Wärmeenergie im Rekuperator abgegeben haben, verlassen sie die Mikrogasturbine in Richtung Abgaswärmetauscher bzw. Kamin.

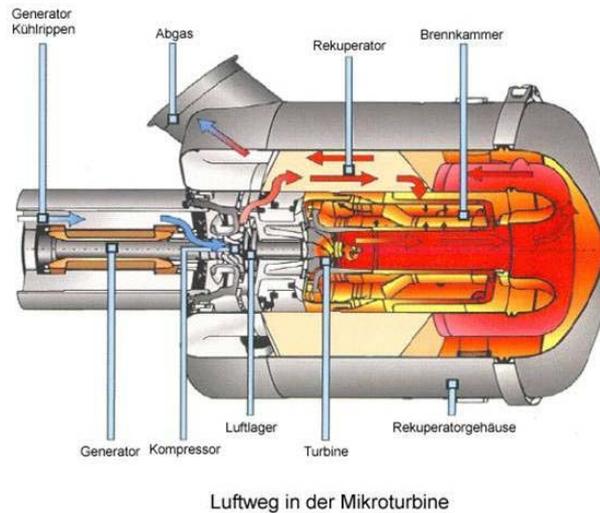
Es können elektrische Wirkungsgrade von bis zu 29 % erreicht werden. Der thermische Wirkungsgrad liegt bei ca. 54 %.

Die Basis für die Entwicklung von Mikrogasturbinen war die Turboladertechnologie und die Entwicklung aus der Luftfahrtindustrie. So wird ähnlich wie bei den Hilfsantrieben in Flugzeugen der Strom über einen Permanent-Magnet-Generator, der ohne Zwischenschaltung eines mechanischen Getriebes gekoppelt ist, erzeugt.

Der Permanentmagnet des Generators ist hierbei direkt auf der Antriebswelle der Turbine angeordnet, so dass der Generator mit der gleichen Drehzahl wie die Turbine betrieben wird. Der so erzeugte hochfrequente Wechselstrom mit einer Frequenz von 1.600 Hz wird in der Leistungselektronik der

Turbine zunächst gleichgerichtet und dann in Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Spannung von 400 V gewandelt.

Um die vorhandene Abgaswärme zu nutzen, wird ein Abgaswärmetauscher nachgeschaltet, der die thermische Energie für die Heizung bereitstellt. Wird keine Heizwärme benötigt, kann der Wärmetauscher umfahren werden, es ist keine Notkühleinrichtung erforderlich.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Mikrogasturbine**



**Abbildung 2: Mikrogasturbine der Fa. VTA**

#### 4.2.2 Bemessung

Die Bemessung erfolgt über eine Jahreslaufzeit von 6.500 Stunden. Aus der unter 4.1.2 beschriebenen Energiemenge ergibt sich bei einem Wirkungsgrad von 30 % eine erforderliche elektrische Leistung von ca.60 kW. In diesem Leistungsbereich gibt es nur eine Baugröße mit 65 kW, die im Leistungsbereich 35 – 65 kW betrieben werden kann. Da das Aggregat möglichst lange Laufzeiten haben sollte, wird ein Teillastbetrieb mit 8.000 Stunden pro Jahr gewählt. Der elektrische Wirkungsgrad liegt in diesem Bereich bei ca. 27 %.

### 4.3 Brennstoffzellen

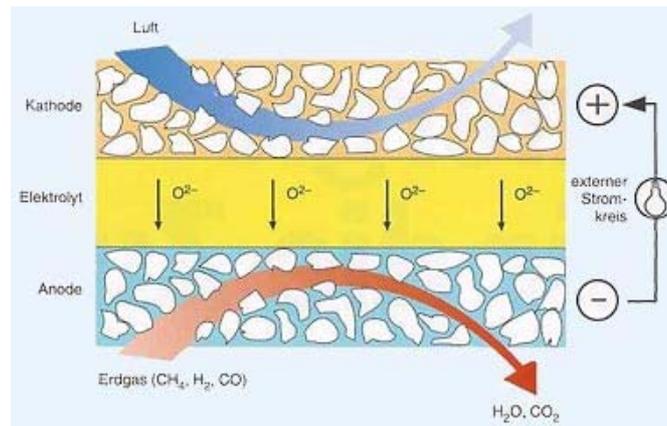
#### 4.3.1 Beschreibung

Bei einer konventionellen Kraft – Wärme – Kopplung (BHKW-Anlage, Mikrogasturbinen), wird die im Brennstoff chemisch gebundene Energie durch die Verbrennung zunächst in thermische Energie und erst dann in elektrische Energie umgewandelt.

In der Brennstoffzelle hingegen wird die Energie des Brennstoffes direkt in elektrische und thermische Energie gewandelt. Durch die Vermeidung der Zwischenschritte bei der Energieumwandlung sind höhere Wirkungsgrade zu erreichen. Es sind elektrische Wirkungsgrade von bis zu 55 % möglich.

Die Arbeitsweise einer Brennstoffzelle ist mit der Umkehrung der Elektrolyse des Wassers vergleichbar. Während bei der Elektrolyse durch Zufuhr von elektrischer Energie das Wassermolekül in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird, reagiert in einer Brennstoffzelle  $H_2$  und  $O_2$  unter Abgabe von elektrischer und thermischer Energie zu Wasser.

Es gibt verschiedene Typen von Brennstoffzellen. Unabhängig vom Typ besteht eine Brennstoffzelle aus zwei Elektroden, einer Anode und einer Kathode, die durch einen gasundurchlässigen, protonenleitenden Elektrolyten voneinander getrennt sind. Die Elektroden hingegen besitzen eine poröse Struktur und sind damit gasdurchlässig. An die Anode wird Wasserstoff anttransportiert von dem ein Teil reagiert und Elektronen abgibt. Die Elektronen fließen über den Stromkreis zur Kathode und verrichten dabei elektrische Arbeit. Die Protonen ( $H^+$ ) wandern durch den Elektrolyten zur Kathode. An der Kathode reagieren die Protonen mit dem Sauerstoff zu Wasser.



**Abbildung 3: Funktionsschema Brennstoffzelle**

Zur Verarbeitung von Klärgas in Brennstoffzellen muss das Gas reformiert werden und aus dem Methan des Klärgases Wasserstoff gewonnen werden. Der gewonnene Strom liegt als Gleichstrom vor und muss über einen Inverter in Wechselstrom der gewünschten Frequenz und Spannung umgeformt werden.

Es gibt verschiedene Brennstoffzellentypen. Für den Einsatz in Kläranlagen kommen aber nur die phosphorsaure Brennstoffzelle und die Schmelzkarbonatbrennstoffzelle in Frage, da beide in einem interessanten Temperaturbereich arbeiten und die erforderliche Gasaufbereitung des Klärgases in einem vertretbaren Aufwand möglich ist.

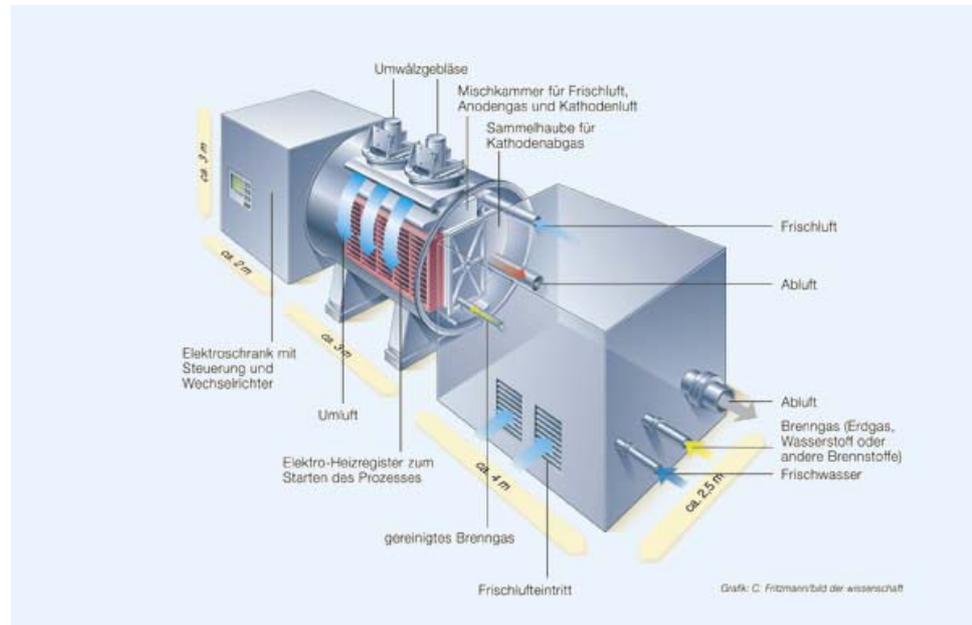
Der Vorteil der Schmelzkarbonat Brennstoffzelle gegenüber der phosphorsauren Brennstoffzelle liegt im hohen Temperaturniveau und der relativen Unempfindlichkeit gegenüber Brenngasverunreinigungen. Durch die hohe Abwärme des Zellstapels kann das Klärgas direkt am Zellstapel über relativ billige Nickelkatalysatoren reformiert werden.

Brennstoffzellen sind reine Grundlastmodule, da sie nur schwer abgeschaltet werden können. Das Teillastverhalten im Bereich 50 – 100 % der Nennlast ist sehr gut und kann ohne nennenswerten Wirkungsgradverlust betrieben werden.

Jede Abschaltung der Brennstoffzelle mit dem daraus resultierendem Abkühlen der Zellstapel führt zur Reduzierung des Wirkungsgrades. Deshalb sind die Zellen mit einer elektrischen Begleitheizung ausgerüstet, die im Außerbetriebnahmefall den Zellstapel auf Betriebstemperatur halten. Bei einer Schmelzkarbonatbrennstoffzelle mit ca. 200 kW elektrischer Leistung benötigt die Begleitheizung 60 kW.

Aus o.g. Gründen ist es zwingend erforderlich, Brennstoffzellen zusätzlich an das Erdgasnetz anzuschließen, um bei Mangel an Klärgas die Brennstoffzelle weiter betreiben zu können.

Derzeit stehen Module mit einer elektrischen Leistung ab 200 kW zur Verfügung. Die erforderliche Klärgasmenge beträgt 1.500 – 1.600 m<sup>3</sup> pro Tag.



**Abbildung 4: Schmelzkarbonatbrennstoffzelle der Fa. CFC Solutions GmbH, Friedrichshafen**

Da der Entwicklungsstand der Brennstoffzellen erst annähernd bis zur Serienreife fortgeschritten ist, sind die Investitionskosten noch unverhältnismäßig hoch.

Es wurde z.B. im Herbst 2006 eine Schmelzkarbonatbrennstoffzelle mit einer elektrischen Leistung von 250 kW auf einer Biogasanlage in Böblingen mit Investitionskosten von 3.000.000 € installiert.

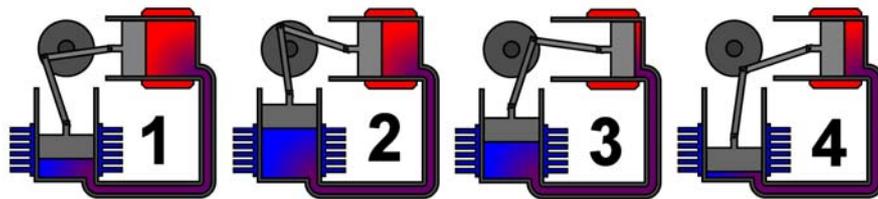
## 4.4 Stirlingmotoren

### 4.4.1 Beschreibung

Der Stirling-Motor ist eine Kolben - Wärmekraftmaschine wie der Otto- oder Dieselmotor. Mit ihr kann Hochtemperatur-Wärme, die durch Verbrennung von Energieträgern freigesetzt wird, zu einem Teil in erwünschte Arbeit umgewandelt werden, die zum Beispiel zum Antrieb eines Generators zur Stromerzeugung genutzt wird. Allerdings entsteht die Wärme nicht wie beim Otto-Motor durch eine explosionsartige Verbrennung im Motor selbst, sondern wird von außen einem im geschlossenen Kreislauf geführten Arbeitsmittel – zum Beispiel Helium, Stickstoff oder Luft – zugeführt. In dieser Hinsicht ähnelt der Stirling-Motor einem Dampfkraftwerk, bei dem die erforderli-

che Wärme ebenfalls in einem Kessel erzeugt und einem Arbeitsmittel – in diesem Fall Wasser und Wasserdampf – von außen zugeführt wird. Wie beim Verbrennungsmotor oder beim Dampfkraftwerk muss derjenige Teil der Wärme, der nicht nutzbringend in wertvolle Arbeit umgewandelt wird, als Niedertemperatur-Wärme abgeführt werden. Diese kann noch z. B. zum Heizen verwendet werden, wenn ein entsprechender Bedarf vorhanden ist; ansonsten muss sie als nutzlose Abwärme der Umgebung zugeführt werden.

Das Arbeitsprinzip des Stirling-Motors besteht darin, ein geschlossenes Gasvolumen zu erhitzen und dabei gleichzeitig zu entspannen sowie im Weiteren zu kühlen und dabei gleichzeitig zu komprimieren; bei diesen Schritten kann über einen Kolben – den Arbeitskolben – eine Kurbelwelle angetrieben werden. Um das Arbeitsgas immer unter dem periodisch veränderlichen erwünschten Volumen zu halten, wird noch ein zweiter Kolben – der Verdrängerkolben – eingesetzt, der ebenfalls mit der Kurbelwelle verbunden ist.



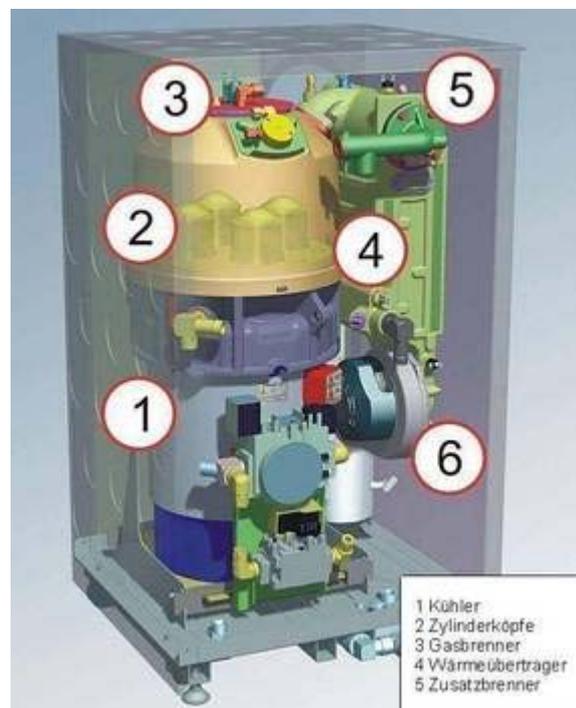
**Abbildung 5: Arbeitsprinzip eines Stirlingprozesses**

Die vier Arbeitstakte eines Stirlingprozesses lassen sich wie folgt beschreiben:

1. Der Großteil des Gases ist aufgeheizt im heißen Zylinder, und die folgende Ausdehnung hat den heißen Kolben an den Rand des Zylinders gedrückt. Die Expansion setzt sich im kalten Zylinder fort. Dieser ist  $90^\circ$  hinter dem heißen Zylinder und entzieht dem heißen Gas weitere Kraft.
2. Das Gas hat seine größtmögliche Ausdehnung erreicht. Der heiße Kolben drückt das meiste Gas in den kalten Zylinder, wo das Gas abkühlt und der Druck sinkt.
3. Das meiste Gas ist nun im kalten Zylinder und kühlt sich weiter ab. Angetrieben von Fliehkraft oder anderen Kolbenpaaren auf derselben Welle komprimiert der kalte Kolben das restliche Gas.
4. Das Gas erreicht seine kleinste Ausdehnung. Es dehnt sich in den heißen Zylinder aus, wird von den heißen Zylinderwänden erhitzt, und treibt den heißen Kolben.

Stirlingmotoren als Antrieb in Blockheizkraftwerken weisen Vorteile auf, die gerade bei kleinen, dezentralen Anlagen zum Tragen kommen. So liegen die Wartungsintervalle von Stirlingmotoren mit 5.000 - 10.000 Stunden sehr hoch, die Wartungskosten sind deutlich unter denen von Gas-Ottomotoren. Die Schadstoff-Emissionen von Stirling-Brennern heutiger Technologie können mindestens 10-mal niedriger als bei Gas-Ottomotoren mit Katalysator liegen, sie entsprechen den Werten von modernen Gasbrennern. Allerdings sind die elektrischen und thermischen Wirkungsgrade noch deutlich schlechter als bei BHKW Anlagen.

Es gibt aber nur sehr wenig Betriebserfahrungen mit Stirlingmotoren auf Kläranlagen. Serienanlagen werden derzeit nur in kleinen Baugrößen bis etwa 10 kW elektrischer Leistung errichtet.



**Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Stirlingmotors**

## 5 Wirtschaftlichkeitsberechnung

### 5.1 **Grundlagen der dynamischen Kostenvergleichsrechnung (KVR) nach LAWA**

#### 5.1.1 Allgemeines

Die Kostenvergleichsrechnung nach den LAWA-Richtlinien 2005 ist ein dynamisches Verfahren. Der Unterschied zu den üblicherweise gebräuchlichen statischen Jahreskosten aus Abschreibung, Verzinsung und Betriebskosten besteht darin, dass die dynamischen Verfahren den zeitlich unterschiedlichen Anfall der Kosten durch Auf- bzw. Abzinsung berücksichtigen, während dies bei den statischen Verfahren nicht geschieht. Bei der Langlebigkeit wasserwirtschaftlicher Anlagen würde eine statische Vorgehensweise zu beträchtlichen Fehlinformationen führen. Daher ist im Rahmen einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung grundsätzlich eine finanzmathematische Aufbereitung der Kosten vorzunehmen. Zum Vergleich dienen die errechneten Projektkostenbarwerte.

#### 5.1.2 Prinzip der Realbewertung

Die Ermittlung des geringsten Aufwandes für eine über eine lange Zeitdauer zu erbringende Leistung beruht auf der Basis der hinter dem ermittelten Wert stehenden Kaufkraft. Das bedeutet, die einzelnen Kostengrößen repräsentieren nur dann einen vergleichbaren güterwirtschaftlichen Aufwand, wenn ihm gleiche Kaufkraftverhältnisse zugrunde liegen.

Diese Bedingung ist infolge von Geldwertänderungen für zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallende Kosten (Nominalkosten) nicht von vornherein gegeben. Vielmehr müssen alle nominalen Größen auf die Kaufkraftverhältnisse eines Basisjahres bezogen werden. Normalerweise wählt man hierfür den Zeitpunkt der Durchführung des Kostenvergleichs. In eine Wirtschaftlichkeitsrechnung müssen also stets die realen Kosten eingehen. Vereinfacht ausgedrückt sind dies die Nominalwerte abzüglich der jeweils vorhandenen Inflationsrate.

#### 5.1.3 Realzins

Über die Höhe des bei der Beurteilung technischer Infrastrukturmaßnahmen anzusetzenden Zinssatzes wurden im Rahmen der periodischen Fortschreibung der Bundesverkehrswegeplanung umfangreiche wirtschaftswissenschaftliche Untersuchungen angestellt. Auf Grund der daraus gewonnenen Erkenntnisse erfolgte in Abstimmung zwischen Bund und Ländern die Fest-

legung eines Standardwertes, der seit 1986 eine Höhe von real 3 % p. a. besitzt. Der dort verwendete Zinssatz ist uneingeschränkt auf wasserwirtschaftliche Projekte übertragbar.

Die LAWA-Leitlinien empfehlen daher, den Kostenvergleichsrechnungen einen langfristigen Zinssatz von real 3 % p. a. als Standardwert zu Grunde zu legen. Im Rahmen von Empfindlichkeitsprüfungen hinsichtlich der Höhe des Zinssatzes und ihrer Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit sollte eine Bandbreite von 2 bis höchstens 5 % p. a. verwendet werden. Damit lassen sich die rational gesetzten Werturteile der Entscheidungsträger abdecken. In der Kostenvergleichsrechnung begünstigen niedrigere Zinssätze investitionskostenintensive Alternativen, dagegen höhere Werte solche Projekte, bei denen die laufenden Kosten stärker zu Buche schlagen.

#### 5.1.4 Reale Preissteigerung

Für das praktische Vorgehen empfiehlt die LAWA-Richtlinie zunächst eine Vergleichsrechnung durchzuführen, die sowohl bei den laufenden Kosten als auch bei den Kosten für Reinvestitionen keine Preissteigerungen vorsieht. Im Rahmen von Empfindlichkeitsprüfungen können dann die Auswirkungen verschiedener Steigerungsraten untersucht werden. Während dies bei Reinvestitionen nur in begründeten Einzelfällen veranlasst sein dürfte (anzusetzende Nutzengleichheit, Kompensationseffekte des Produktivitätsfortschrittes und der Qualitätsverbesserung durch technologische Weiterentwicklung), ist bei den laufenden Kosten (insbesondere bei den Energiekosten) eine solche Empfindlichkeitsprüfung empfehlenswert. Als oberster Grenzwert für die zu untersuchende Spannweite sollte dabei eine reale Preissteigerungsrate von 3 % p. a. keinesfalls überschritten werden. Realistische und begründbare Prognosewerte für reale Preissteigerungsraten bei den laufenden Kosten wasserwirtschaftlicher Anlagen dürften im Bereich von 0 bis 1 %, allerhöchstens bis etwa 2 % p. a., liegen.

#### 5.1.5 Untersuchungszeitraum

Der einer Kostenvergleichsrechnung zweckmäßigerweise zugrunde zu liegende Untersuchungszeitraum leitet sich aus einer zweistufigen Vorgehensweise ab. Zunächst wird jede Alternative für sich betrachtet und der für sie maßgebliche individuelle Untersuchungszeitraum bestimmt. Anschließend erfolgt eine alternativenübergreifende Abstimmung.

Der individuelle Untersuchungszeitraum einer Alternative richtet sich nach der Dauer der Investitions- und Betriebsphase. Erstere ergibt sich aus dem jeweiligen Bauzeitenplan. Die Betriebsphase wird durch die wirtschaftliche Lebensdauer der Anlage bzw. der Anlagenteile begrenzt. Deren Ende ist er-

reicht, wenn die nach diesem Zeitpunkt anfallenden Kosten die dann noch erzielbaren Nutzen zu übersteigen beginnen. Da sich dieser Zeitpunkt im Einzelfall nur schwer vorausschätzen lässt, legt man in der Praxis deren Länge so fest, dass sie etwa der durchschnittlichen Nutzungsdauer vergleichbarer Anlagen entspricht.

Bei unterschiedlichen durchschnittlichen Nutzungsdauern der Alternativen ist für eine Kostenvergleichsrechnung die Wahl eines längeren Untersuchungszeitraumes erforderlich.

Als Nutzungsdauer von KWK Anlagen werden 10 Jahre angesetzt.

Bauliche Anlagen mit einer längeren Nutzungsdauer sind nicht erforderlich (Bauwerke, Gebäude, etc.).

#### 5.1.6 Sensibilitätsprüfung

Auf Grund der langen Betrachtungszeiträume und einer Vielzahl an Annahmen bei den Betriebskosten, Investitionskostenschätzungen, Reinvestitionskosten, etc. sind in der Planung zwangsläufig Unsicherheiten über die Projektentwicklung und Kalkulationsansätze enthalten.

Sensibilitätsprüfungen dienen dazu, kostenmäßige Auswirkungen möglicher Änderungen wichtiger Rechengrößen auf das Ergebnis zu ermitteln.

Im Zuge der Sensibilitätsprüfung wird der Zinssatz im Bereich 3 – 7 % variiert, eine Preissteigerungsrate im Bereich 0 – 3 % untersucht und die Betriebs- und Investitionskosten im Bereich -20 % bis +20% variiert.

## 5.2 Einspeisevergütung

### 5.2.1 Vergütungsmöglichkeiten

Für die Verwertung des erzeugten Stromes bestehen prinzipiell drei Möglichkeiten:

1. Eigenverbrauch auf der Kläranlage und damit Reduzierung des Strombezugs
2. Einspeisung in das öffentliche Netz und Vergütung des erzeugten Stromes über das Erneuerbare-Energien-Gesetz und Einsparung der Stromsteuer
3. Einspeisung des erzeugten Stromes in das öffentliche Netz und Vergütung über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz und Einsparung der Stromsteuer

### 5.2.1.1 *Erneuerbare-Energien-Gesetz*

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) soll den Ausbau von Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Quellen fördern. Es dient vorrangig dem Klimaschutz und gehört zu einer ganzen Reihe gesetzlicher Maßnahmen, mit denen die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle verringert werden soll. Das EEG (2000) trat am 01.04.2000 in Kraft und wurde 2004 (zum 01.08.2004) und 2008 (zum 01.01.2009) novelliert.

Grundgedanke des EEG ist es, dass den Betreibern der zu fördernden Anlagen über einen bestimmten Zeitraum ein fester Vergütungssatz für den erzeugten Strom gewährt wird, der sich an den Erzeugungskosten der jeweiligen Erzeugungsart orientiert, um so einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen zu ermöglichen. Der für neu installierte Anlagen festgelegte Satz sinkt jährlich um einen bestimmten Prozentsatz (Degression), um einen Anreiz für Kostensenkungen zu schaffen.

Der zuständige Netzbetreiber ist aufgrund eines gesetzlichen Schuldverhältnisses zum Anschluss der Anlage und zur Zahlung der festgelegten Vergütung verpflichtet. Ein Vertrag mit dem Anlagenbetreiber bedarf es nicht.

Die entstandenen Mehrkosten, d. h. die Differenz zwischen Vergütungssatz und Marktpreis des Stroms, werden unter den Energieversorgungsunternehmen (EVU) gleichmäßig aufgeteilt (Bundesweite Ausgleichsregelung) und fließen als zusätzlicher Kostenfaktor in Form der sogenannten EEG-Umlage in die Kalkulation und Abrechnung der Endverbraucherpreise ein. Damit werden die im EEG festgelegten Vergütungen letztendlich von der Solidargemeinschaft der Elektrizitätsabnehmer bezahlt.

Die Dauer der Vergütung und der Vergütungssatz richten sich nach dem Jahr der Erstinbetriebnahme der BHKW Anlage.

Bei einer Vergütung nach EEG wird die komplett erzeugte Strommenge in das öffentliche Netz eingespeist. Dies kann auch fiktiv erfolgen, das heißt, der erzeugte Strom wird weiterhin auf der Kläranlage verbraucht. Dieser Stromanteil wird nach EEG vergütet, gleichzeitig muss für diesen Stromanteil ein Strombezug vom EVU bezahlt werden.

### 5.2.1.2 *Stromsteuergesetz*

Das Stromsteuergesetz (StromStG) ist am 01. April 1999 in Kraft getreten und besteuert den Stromverbrauch. Die letzte Änderung trat am 01. Januar 2009 in Kraft.

Für bestimmte Verwendungszwecke ist eine Befreiung von der Stromsteuer vorgesehen. Gemäß § 9 StromStG ist Strom aus erneuerbaren Energieträ-

gern bzw. Strom aus Anlagen mit elektrischen Nennleistungen bis 2 MW von der Stromsteuer befreit. Das gilt für Strom, der aus abrechnungstechnischen Gründen in das Stromnetz eingespeist wird, während gleichzeitig die gesamte Strommenge aus dem Netz bezogen wird. Wichtig ist, dass die bezogene Strommenge zum Zeitpunkt der Einspeisung gleich oder höher der eingespeisten Strommenge ist. Das ist über geeignete Messeinrichtungen zu erfassen. Die Befreiung erfolgt durch das Hauptzollamt, die Rückerstattung durch das EVU. Beides muss beantragt werden.

### 5.2.1.3 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Am 01. April 2002 ist das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz in Kraft getreten. Durch das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz sollen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen über einen befristeten Zeitraum geschützt, die Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie der Ausbau der Stromerzeugung in kleinen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen unterstützt und die Markteinführung von Brennstoffzellenanlagen gefördert werden. Die letzte Änderung trat am 01. Januar 2009 in Kraft.

Der Anspruch auf die Vergütung eines KWK-Zuschlages richtet sich nach Anlagenkategorien, die im KWKG-Gesetz definiert sind. Sie hängen ab vom Datum der Erstinbetriebnahme bzw. vom Inbetriebnahmedatum der letzten Erneuerung, Modernisierungen oder Austausch vorhandener KWK-Anlagen sowie von der Anlagengröße (installierte elektrische Leistung). Aus der Anlagenkategorie ergeben sich die Dauer und die Höhe der Zuschlagsvergütung.

Bei Einspeisung des erzeugten Stromes über das KWKG-Gesetz setzt sich der Preis aus folgenden drei Komponenten zusammen:

#### **Üblicher Preis:**

Für den gesamten erzeugten Strom ist ein „üblicher Preis“ zu bezahlen. Als „üblicher Preis“ gilt der an der Leipziger Strombörse EEX erzielte durchschnittlich Baseload-Preis des jeweils vorangegangenen Quartals.

Aktuelle Baseloadpreise:

Quartal 4/2008	6,800 ct / kWh
- Januar 2009	5,712 ct / kWh
- Februar 2009	4,779 ct / kWh
- März 2009	3,719 ct / kWh
➔ <b>Quartal 1/ 2009</b>	<b>4,735 ct / kWh</b>

**Vermiedene Netzkosten:**

Die vermiedenen Netzkosten sind die Kosten die nicht entstehen, da KWK-Anlagen dezentral Strom in das Niederspannungsnetz einspeisen, deshalb nicht der Strom vom Hochspannungsnetz stufenweise herunter transformiert werden muss, um dann letztlich in der Straße zu den Gebäuden zu gelangen um dort verbraucht zu werden. Die vermiedenen Netzkosten sind für den gesamten erzeugten Strom zu erstatten und liegen üblicherweise zwischen 0,5 – 2 ct/kWh.

**KWK-Zuschlag:**

Der KWK-Zuschlag wird nur auf den KWK-Stromanteil gewährt und errechnet sich als Produkt aus Nutzwärme und Stromkennzahl. Als Nutzwärme ist die aus dem Kraft-Wärme-Kopplungsprozess ausgekoppelte Wärme, die außerhalb der KWK-Anlagen für die Raumheizung und Warmwasserbereitung, Kälteanlagen oder als Prozesswärme verwendet wird, definiert. Die zur Faulbehälterbeheizung in Kläranlagen verwendete Wärme aus klärgasbefeuerten KWK-Anlagen ist allerdings keine Prozesswärme im Sinne §3(6) KWKG.

Unter Prozesswärme im Sinne §3(6) KWKG ist Wärme für gewerbliche und industrielle Produktionsverfahren und jede auf einen Industrieprozess übertragene und dort verwendete Abwärme zu verstehen und ist definiert als das auf den Anwendungsfall optimierte, deutlich höhere Temperaturniveau im Vergleich zur Raumwärme. Die Versorgung mit Nutzwärme von Neben- und/oder Hilfsanlagen des wärmeerzeugenden Kraftwerks fällt nicht unter den Begriff der Prozesswärme. Denn dies ist keine Wärme, die in einem industriellen Erzeugungsprozess genutzt wird. (vgl. Büdenbender/Rosin – Kommentar zum KWKG; vgl. Salje KWKG).

Voraussetzung für die Förderung von KWK-Strom und damit die Abnahme- und Zahlungspflicht des aufnehmenden Netzbetreibers nach § 4 ist die Zulassung als KWK-Anlage gemäß § 5. Die Zulassung als KWK-Anlage im Sinne des Gesetzes wird vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) erteilt. Im Rahmen des Zulassungsverfahrens muss der KWK-Anlagenbetreiber ein Sachverständigengutachten über die Eigenschaften der Anlage vorlegen, welches für die Feststellung der Zuschlagsberechtigung relevant ist. Für serienmäßig hergestellte kleine KWK-Anlagen gem. § 3 Abs. 3 ist es ausreichend, Unterlagen des Herstellers, die Angaben zur thermischen und elektrischen Leistung sowie die Stromkennzahl beinhalten, vorzulegen.

Die Höhe des Vergütungssatzes und die Dauer der KWK-Vergütung richten sich in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmedatum und von der Anlagengröße nach Anlagenkategorien. Bei bestimmten Anlagenkategorien ist auch eine Zuschlagsvergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes möglich.

### 5.2.2 Stromkosten

Die Stromrechnungen von 2008 ergeben folgende mittlere Stromkosten (brutto):

- Hochtarif	7,31 Cent/kWh
- Niedertarif	5,69 Cent/kWh
- Stromsteuer	2,44 Cent/kWh
- EEG Abgabe (Jahresmittel)	1,34 Cent/kWh
- KWK-Umlage (Jahresmittel)	0,08 Cent/kWh
- mittlerer Strompreis (ohne Leistung)	0,10 Cent/kWh
- Leistungspreis	111,67 €/kW

Leistungsbezug (Jahresmittel) 168 kW

Es wird davon ausgegangen, dass auch bei Einspeisung der gesamten Strommenge keine Erhöhung des Leistungsbezuges erforderlich wird.

## 5.3 Variantenberechnung

### 5.3.1 Variante 1: Generalüberholung des vorhandenen BHKWs

#### 5.3.1.1 Strom- und Wärmemengen

Es werden jährlich rund 183.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas verfeuert und damit rund 270.000 kWh Strom erzeugt. Der jährliche Strombedarf der Kläranlage Garching liegt bei 933.000 kWh/a. Die Eigenstromerzeugungsrate der Kläranlage liegt bei 29 %.

Derzeit werden ca. 10.000 m<sup>3</sup> Klärgas pro Jahr im Heizkessel verfeuert. Zukünftig sollte dieses Gas auch im BHKW verstromt werden. Dadurch kann die Stromerzeugung auf 285.000 kWh pro Jahr erhöht werden. Die zusätzlich erforderliche Heizölmenge als Ersatz für das Klärgas ist minimal. Die Laufzeit des BHKWs beträgt ca. 8.000 h pro Jahr.

### 5.3.1.2 *Eigenverbrauch des BHKW Stromes*

Bei dieser Betriebsweise wird der erzeugte BHKW-Strom direkt auf der Kläranlage verbraucht. Dadurch reduziert sich der Strombezug vom EVU. Diese Betriebsweise entspricht dem derzeitigen Betrieb. Die Jahreskosten betragen rund. **85.800 €** (siehe Berechnungsblatt 1.1 in der Anlage 01).

### 5.3.1.3 *Vergütung des BHKW Stromes nach dem EEG*

Die BHKW-Anlage wurde 1999 errichtet; es ist das EEG 2000 maßgebend. Die Laufzeit für eine EEG-Vergütung beträgt 20 Jahre ab Erstinbetriebnahme. Für Strom aus Klär- und Deponiegas wird eine Vergütung für Anlagen bis 500 kW elektrischer Leistung von 7,67 Cent/kWh garantiert. Eine Vergütung nach EEG wäre bis zum Jahr 2019 möglich.

Unter Berücksichtigung des höheren Strombezugs, der Vergütung nach EEG sowie der Stromsteuerersparnis ergeben sich Jahresstromkosten in Höhe von **88.200 €** (siehe Berechnungsblatt 1.2 in der Anlage 01).

### 5.3.1.4 *Vergütung des BHKW Stromes nach dem KWK-Gesetz*

Durch die Inbetriebnahme der Anlage im Oktober 1999 und der elektrischen Leistung der BHKWs von 60 kW fällt die Anlage in die Anlagenkategorie „neue Bestandsanlage“. Für diese Anlagenkategorie wird eine Zuschlagsvergütung nur noch für 2009 in Höhe von 0,56 ct/kWh gewährt. Eine Zuschlagsvergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes ist nicht möglich.

Bei Einspeisung des erzeugten Stromes ergeben sich unter Berücksichtigung der erhöhten Strombezugskosten und der Steuerersparnisse und Vergütungssätze Jahreskosten in Höhe von **93.800 €** (siehe Berechnungsblatt 1.3 in der Anlage 01).

### 5.3.1.5 *Ergebnisse*

Zusammenstellung der unterschiedlichen Vergütungsoptionen:

Stromjahreskosten

1. Eigenverbrauch des BHKW-Stromes	85.800 €
2. Einspeisung des BHKW-Stromes über EEG	88.200 €
3. Einspeisung des BHKW-Stromes über KWK	93.800 €

Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms ergibt die niedrigsten Stromkosten und wird bei der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung angesetzt.

### 5.3.1.6 *Investitions- und Betriebskosten*

Laut Richtpreisangebot der Firma Lemkers betragen die Kosten für die Generalüberholung der BHKW Anlage 20.000 € brutto.

Es werden alle 4.000 Betriebsstunden die Zündkerzen und alle 1.700 Betriebsstunden das Motoröl gewechselt. Ein Wartungsvertrag besteht nicht. Der Personalbedarf für die Wartungsarbeiten beträgt ca. 6 Stunden pro Wartung. Weiterhin fallen rund 20 Stunden pro Jahr für zusätzliche Reparaturarbeiten an.

Die Wartungskosten betragen pro Jahr:

5 x 60 l Öl x 5 €	1.500 €
2 x 6 Zündkerzen x 30 €	360 €
50 h Personal x 30 €	1.500 €
Ersatzteile pauschal	<u>1.500 €</u>
Summe gerundet	5.000 €

## 5.3.2 Variante 2 Erneuerung BHKW-Anlage, elektrische Leistung bis 50 kW

### 5.3.2.1 *Strom- und Wärmemengen*

Es können jährlich rund 193.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas verfeuert und damit rund 376.000 kWh Strom erzeugt werden. Der jährliche Strombedarf der Kläranlage Garching liegt bei 933.000 kWh/a. Die Eigenstromerzeugungsrate der Kläranlage liegt bei 40 %. Die Laufzeit des BHKWs beträgt ca. 7.500 Stunden pro Jahr.

### 5.3.2.2 *Eigenverbrauch des KWK-Stroms*

Bei dieser Betriebsweise wird der erzeugte KWK-Strom direkt auf der Kläranlage verbraucht. Dadurch reduziert sich der Strombezug vom EVU. Die Jahreskosten betragen rund **76.400 €** (siehe Berechnungsblatt 2.1 in der Anlage 01).

### 5.3.2.3 *Vergütung des KWK-Stroms nach dem EEG*

Entsprechend dem EEG 2009 gibt es keine Modernisierungen vorhandener KWK-Anlagen mehr. Die erste BHKW-Anlage wurde 1999 errichtet; es ist das EEG 2000 maßgebend. Laufzeit und Vergütung sind dieselben wie bei dem vorhandenem BHKW (siehe auch 5.3.1.3).

Unter Berücksichtigung des höheren Strombezugs, der Vergütung nach EEG sowie der Stromsteuerersparnis ergeben sich Jahresstromkosten in Höhe von **79.600 €** (siehe Berechnungsblatt 2.2 in der Anlage 01).

#### 5.3.2.4 Vergütung des BHKW Stromes nach dem KWK-Gesetz

Durch die Inbetriebnahme der Anlage im Oktober 1999 und der Erneuerung 2009 sowie einer elektrischen Leistung der KWK-Anlage von 50 kW fällt die Anlage in die Anlagenkategorie „kleine KWK-Anlage“. Für diese Anlagenkategorie wird eine Zuschlagsvergütung von 5,11 ct/kWh für eine Dauer von 10 Jahren gewährt. Eine Zuschlagsvergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes ist möglich.

Als verwertete Wärmemenge im Sinne des KWK-Gesetzes kann nur der Wärmeanteil für die Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung angesetzt werden, der Anteil wird mit 15 % der gesamten Wärmemenge, respektive mit 80.000 kWh/a abgeschätzt.

Bei Einspeisung des erzeugten Stromes ergeben sich unter Berücksichtigung der erhöhten Strombezugskosten und der Steuerersparnisse und Vergütungssätze Jahreskosten in Höhe von **86.200 €** bei Eigenverbrauch des Stromes und Vergütung des KWK-Zuschlages ergeben sich Jahreskosten in Höhe von **73.900 €** (siehe Berechnungsblatt 2.2 und 2.3 in der Anlage 01).

#### 5.3.2.5 Ergebnisse

Zusammenstellung der unterschiedlichen Vergütungsoptionen:

##### Stromjahreskosten

1. Eigenverbrauch des KWK-Stroms	76.400 €
2. Einspeisung des KWK-Stroms über EEG	79.600 €
3. Einspeisung des KWK-Stroms über KWK	86.200 €
4. Eigenverbrauch des KWK-Stroms und KWK-Vergütung	73.900 €

Die KWK-Vergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms ergibt die niedrigsten Stromkosten bei Einsatz einer KWK-Anlage mit 50 kW elektrischer Leistung und wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung angesetzt.

#### 5.3.2.6 Investitionskosten BHKW mit 50 kW elektrischer Leistung

Laut Richtpreisangebot der Firma Köhler und Ziegler betragen die Kosten für ein BHKW mit 50 kW elektrischer Leistung BHKW einschließlich Mehrwertsteuer und Nebenkosten 125.000 €

Für die Wartungskosten wird ein Vollwartungsvertrag angesetzt. Dieser Wartungsvertrag beinhaltet sämtliche Kosten einschließlich Ölwechsel und alle Ersatzteile. Falls später wie bisher auch die Wartung vom Personal selbst ausgeführt wird, werden die Wartungskosten günstiger.

Ein Vollwartungsvertrag bei der Fa. Köhler und Ziegler kostet 1,63 € brutto je Betriebsstunde.

### 5.3.3 Variante 3 Erneuerung BHKW Anlage, elektrische Leistung bis 60 kW

Bei Variante 3 werden dieselben Strom- und Wärmemengen wie bei Variante 2 erzeugt, lediglich die Jahresbetriebszeit der KWK-Anlage ist etwas niedriger und liegt bei ca. 6.200 Stunden. Die Jahresstromkosten bei Eigenverbrauch oder bei Einspeisung nach EEG sind identisch zur Variante 2 (siehe Berechnungsblatt 3.1 und 3.2 in der Anlage 01).

#### 5.3.3.1 Vergütung des KWK-Stroms nach dem KWK-Gesetz

Eine KWK-Anlage mit 60 kW elektrischer Leistung fällt unter die Anlagenkategorie „hocheffiziente, modernisierte KWK-Anlage“.

Für diese Anlagenkategorie wird eine Zuschlagsvergütung von 5,11 ct/kWh bis 50 kW elektrischer Leistung und 2,10 ct/ kWh für den Leistungsbereich größer als 50 kW für eine Dauer von 6 Jahren bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden gewährt. Der Mischpreis beträgt 4,61 ct/kWh. Eine Zuschlagsvergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes ist möglich.

Die verwertete Wärmemenge im Sinne des KWK-Gesetzes wird mit 80.000 kWh/a abgeschätzt.

Bei Einspeisung des erzeugten Stromes ergeben sich unter Berücksichtigung der erhöhten Strombezugskosten und der Steuerersparnisse und Vergütungssätze Jahreskosten in Höhe von **86.400 €** bei Eigenverbrauch des Stromes und Vergütung des KWK-Zuschlages ergeben sich Jahreskosten in Höhe von **74.100 €** (siehe Berechnungsblatt 3.3 und 3.4 in der Anlage 01).

#### 5.3.3.2 Ergebnisse

Zusammenstellung der unterschiedlichen Vergütungsoptionen:

Stromjahreskosten

1. Eigenverbrauch des KWK-Stroms	76.400 €
2. Einspeisung des KWK-Stroms über EEG	79.600 €
3. Einspeisung des KWK-Stroms über KWK	86.400 €
4. Eigenverbrauch des KWK-Stroms und KWK-Vergütung	74.100 €

Die KWK-Vergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms ergibt die niedrigsten Stromkosten bei Einsatz einer KWK-Anlage mit 60 kW elektrischer Leistung. Da die Vergütungsdauer nur sechs Jahre beträgt, wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Jahre 1 – 6 Stromkosten in Höhe

von 74.100 € angesetzt und für die Jahre 7 – 10 76.400 € (Eigenverbrauch des erzeugten Stromes).

#### 5.3.3.3 *Investitionskosten BHKW mit 60 kW elektrischer Leistung*

Die nächste Baugröße zum 60 kW BHKW beträgt bei der Fa. Köhler und Ziegler 75 kW. Laut Richtpreisangebot betragen die Kosten dafür einschließlich Mehrwertsteuer und Nebenkosten 140.000 €.

Die Wartungskosten werden analog zu 5.3.2.6 mit 1,63 € brutto je Betriebsstunde angesetzt.

#### 5.3.4 Variante 4: Neubau einer Microgasturbine

##### 5.3.4.1 *Strom- und Wärmemengen*

Es können jährlich rund 193.000 Nm<sup>3</sup> Klärgas verfeuert und damit rund 339.000 kWh Strom erzeugt werden. Der jährliche Strombedarf der Kläranlage Garching liegt bei 933.000 kWh/a. Die Eigenstromerzeugungsrate der Kläranlage liegt bei 35 %. Die Laufzeit der Microgasturbine beträgt ca. 8.000 Stunden pro Jahr.

##### 5.3.4.2 *Eigenverbrauch des KWK-Stroms*

Bei dieser Betriebsweise wird der erzeugte KWK-Strom direkt auf der Kläranlage verbraucht. Dadurch reduziert sich der Strombezug vom EVU. Die Jahreskosten betragen rund **80.200 €** (siehe Berechnungsblatt 4.1 in der Anlage 01).

##### 5.3.4.3 *Vergütung des KWK-Stroms nach dem EEG*

Entsprechend dem EEG 2009 gibt es keine Modernisierungen vorhandener KWK-Anlagen mehr. Die erste BHKW-Anlage wurde 1999 errichtet; es ist das EEG 2000 maßgebend. Laufzeit und Vergütung sind dieselben wie bei dem vorhandenem BHKW (siehe auch 5.3.1.3). Eine Vergütung nach EEG wäre bis zum Jahr 2019 möglich. Die Grundvergütung nach EEG 2000 beträgt für das Inbetriebnahmejahr 1999 7,67 ct/kWh.

Unter Berücksichtigung des höheren Strombezugs, der Vergütung nach EEG sowie der Stromsteuerersparnis ergeben sich Jahresstromkosten in Höhe von **83.100 €** (siehe Berechnungsblatt 4.2 in der Anlage 01).

#### 5.3.4.4 Vergütung des KWK-Stroms nach dem KWK-Gesetz

Eine KWK-Anlage mit 65 kW elektrischer Leistung fällt unter die Anlagenkategorie „hocheffiziente, modernisierte KWK-Anlage“.

Für diese Anlagenkategorie wird eine Zuschlagsvergütung von 5,11 ct/kWh bis 50 kW elektrischer Leistung und 2,10 ct/ kWh für den Leistungsbereich größer als 50 kW für eine Dauer von 6 Jahren bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden gewährt. Der Mischpreis beträgt 4,42 ct/kWh. Eine Zuschlagsvergütung bei Eigenverbrauch des erzeugten Stromes ist möglich.

Die verwertete Wärmemenge im Sinne des KWK-Gesetzes wird mit 80.000 kWh/a abgeschätzt.

Bei Einspeisung des erzeugten Stromes ergeben sich unter Berücksichtigung der erhöhten Strombezugskosten und der Steuerersparnisse und Vergütungssätze Jahreskosten in Höhe von **89.200 €** bei Eigenverbrauch des Stromes und Vergütung des KWK-Zuschlages ergeben sich Jahreskosten in Höhe von **78.300 €** (siehe Berechnungsblatt 4.3 in 4.4 in der Anlage 01).).

#### 5.3.4.5 Ergebnisse

Zusammenstellung der unterschiedlichen Vergütungsoptionen:

Stromjahreskosten

1. Eigenverbrauch des KWK Stroms	80.200 €
2. Einspeisung des KWK Stroms über EEG	83.100 €
3. Einspeisung des KWK Stroms über KWK	89.200 €
4. Eigenverbrauch des KWK Stroms und KWK Vergütung	78.300 €

Die Vergütung KWK-Gesetz bei Eigenverbrauch des Stroms ergibt die niedrigsten Stromkosten bei Einsatz einer Microgasturbine und wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung angesetzt. Da die Vergütungsdauer nur sechs Jahre beträgt, wird bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Jahre 1 – 6 Stromkosten in Höhe von 78.300 € angesetzt und für die Jahre 7 – 10 80.200 € (Eigenverbrauch des erzeugten Stromes).

#### 5.3.4.6 Investitionskosten Microgasturbine

Laut Richtpreisangebot der Firma VTA betragen die Kosten für eine Microgasturbine mit einem Leistungsbereich von 35 – 65 kW<sub>eltr.</sub> 240.000 € brutto einschließlich Nebenkosten.

Die Wartungskosten betragen 0,42 € je Betriebsstunde. Ersatzteilkosten sind in den Wartungskosten enthalten. Der Austausch des Heißgasteils ist

nicht enthalten. Der Austausch wird nach 40.000 – 60.000 Betriebsstunden erforderlich, die Kosten dafür betragen rund 35.000 € brutto.

## 5.4 Ergebnis der Kostenvergleichsrechnungen

Die Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnungen sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

### 5.4.1 Kostenvergleichsrechnung gemäß Annahmen

**Tabelle 1 : Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	91.200	815.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	125.000	86.400	862.000 106%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	85.420	868.000 107%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	82.700	945.000 116%

Bei den gewählten Rahmenbedingungen stellt sich die Sanierung des vorhandenen BHKWs als das wirtschaftlichste System dar. Dabei sind zwar die Betriebskosten am höchsten, auf Grund der relativ niedrigen Investitionskosten ergibt sich aber der niedrigste Projektkostenbarwert.

#### 5.4.2 Änderung des Zinssatzes

In der Grundbetrachtung wurde ein Zinssatz von 3 % angesetzt.

**Tabelle 2: Kostenvergleich der Varianten, 6 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	91.200	706.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	125.000	86.400	761.000 108%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	85.420	768.000 109%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	82.700	848.000 120%

Bei einem angenommenen Zinssatz von 6 % ergibt sich keine Änderung der Reihenfolge.

#### 5.4.3 Ansatz einer Preissteigerungsrate

In der Grundbetrachtung wurde eine Preissteigerungsrate der Betriebskosten von 0 % angesetzt.

**Tabelle 3: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 2 % Preissteigerung**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	91.200	902.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	125.000	86.400	944.000 105%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	85.420	950.000 105%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	82.700	1.024.000 114%

Bei einer Preissteigerungsrate von 2 % ergibt sich keine Änderung der Reihenfolge.

#### 5.4.4 Änderung der Investitionskosten

**Tabelle 4: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Investitionskostenänderung +20 %**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	24.000	91.200	823.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	150.000	86.400	887.000 108%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	168.000	85.420	896.000 109%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	288.000	82.700	993.000 121%

**Tabelle 5: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Investitionskostenänderung -20 %**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	16.000	91.200	808.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	100.000	86.400	837.000 104%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	112.000	85.420	840.000 104%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	192.000	82.700	897.000 111%

Bei einer Änderung der Investitionskosten im Bereich -20 % bis + 20 % ergibt sich keine Änderung bei den günstigsten Varianten.

#### 5.4.5 Änderung der Betriebskosten

**Tabelle 6: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Betriebskostenänderung +20 %**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	109.440	971.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leitung	125.000	103.680	1.009.000 104%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	102.504	1.014.000 104%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	99.240	1.086.000 112%

**Tabelle 7: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Betriebskostenänderung -20 %**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	72.960	660.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leitung	125.000	69.120	715.000 108%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	68.336	722.000 109%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	66.160	804.000 122%

Bei einer Änderung der Betriebskosten im Bereich -20 % bis + 20 % ergibt sich keine Änderung bei den günstigsten Varianten.

#### 5.4.6 Wartungskosten analog zum Bestand

Bei den Varianten 2 – 4 wurden bei den Betriebskosten jeweils ein Vollwartungsvertrag angesetzt, um die einzelnen Systeme (BHKW und Microgasturbine) besser miteinander vergleichen zu können. Bei einem Vollwartungs-

vertrag sind alle Verschleißteile und alle Verbrauchsstoffe (außer dem Brennstoff) enthalten, so dass keine weiteren Kosten für Wartung und Reparatur entstehen.

Bei Variante 1 „bestehendes BHKW“ wurden die tatsächlichen Kosten für Wartung, Reparatur, Ölwechsel, etc. angesetzt, die laut Aussage des Betriebspersonals einschließlich der Personalkosten jährlich anfallen. Für bestehendes BHKW ist kein Vollwartungsvertrag abgeschlossen.

Die Durchführung der Wartungsarbeiten mit dem Betriebspersonal ist wesentlich kostengünstiger als ein Vollwartungsvertrag. Diese Tatsache begünstigt Variante 1 beim Kostenvergleich.

Unterstellt man bei den Varianten 2 – 4 dieselben Wartungskosten wie bei Variante 1 ergibt sich folgende Kostenzusammenstellung:

**Tabelle 8: Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Wartungskosten bei allen Varianten gleich**

Variante	Investition	Betriebskosten (gemittelt)	Kostenbarwert
	€	€/Jahr	€
<b>Variante 1</b> Generalüberholung vorhandenes BHKW	20.000	91.200	815.000 100%
<b>Variante 2</b> neue BHKW Anlage 50 kW elektrischer Leistung	125.000	79.100	800.000 98%
<b>Variante 3</b> neue BHKW Anlage 60 kW elektrischer Leistung	140.000	80.320	824.000 101%
<b>Variante 4</b> Microgasturbine	240.000	82.700	945.000 116%

Bei gleichen Wartungskosten verschiebt sich die Reihenfolge zu Gunsten der Variante 2. Da ohne Vollwartungsvertrag der Aufwand für die Wartung nur schwer abgeschätzt werden kann, und die Projektkostenbarwerte sehr nahe beieinander liegen sind die Varianten 1 und 2 unter diesen Bedingungen als kostenneutral zu bezeichnen.

## 5.5 Bewertung und Handlungsbedarf

Die Erneuerung des Blockheizkraftwerkes ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht rentabel, wenn ein Vollwartungsvertrag abgeschlossen wird. Bei Durchführung der Wartungsarbeiten durch das Betriebspersonal ist

eine Generalüberholung des vorhandenen BHKWs und der Neubau eines BHKWs kostenneutral.

Aus ökologischer Sicht ist der Austausch des vorhandenen BHKWs gegen ein neues BHKW sinnvoll und empfehlenswert, da die Stromerzeugung deutlich erhöht werden kann. Damit werden Ressourcen gespart, der CO<sub>2</sub> Ausstoß reduziert und ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Die Eigenstromerzeugungsrate der Kläranlage kann von derzeit 29 % auf 40 % gesteigert werden.

### Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1:	Schematische Darstellung einer Mikrogasturbine	6
Abbildung 2:	Mikrogasturbine der Fa. VTA	6
Abbildung 3:	Funktionsschema Brennstoffzelle	8
Abbildung 4:	Schmelzkarbonatbrennstoffzelle der Fa. CFC Solutions GmbH, Friedrichshafen	9
Abbildung 5:	Arbeitsprinzip eines Stirlingprozesses	10
Abbildung 6:	Schematische Darstellung eines Stirlingmotors	11

### Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1 :	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung	25
Tabelle 2:	Kostenvergleich der Varianten, 6 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung	26
Tabelle 3:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 2 % Preissteigerung	26
Tabelle 4:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Investitionskostenänderung +20 %	27
Tabelle 5:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Investitionskostenänderung -20 %	27
Tabelle 6:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Betriebskostenänderung +20 %	28
Tabelle 7:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Betriebskostenänderung -20 %	28
Tabelle 7:	Kostenvergleich der Varianten, 3 % Zinssatz, 0 % Preissteigerung, Wartungskosten bei allen Varianten gleich	29



**1.1 jährliche Stromkosten bei Eigenverbrauch des BHKW Stroms  
 vorhandenes BHKW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.10.1999
Fabrikat	Lemkers
Typ	Yentz BF 6 M 1013 E
Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	120 kW
Gesamtfeuerungsleistung	170 kW
Stromkennzahl	0,50
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	285.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	648.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif	318.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif	330.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

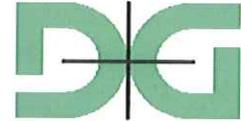
**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	23.250,12 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	18.771,06 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	15.807,96 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	8.713,66 €
KWK Umlage	0,08 ct/kWh	539,78 €

---

**Jahreskosten (gerundet) 85.800,00 €**

---



**1.2 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über EEG -  
vorhandenes BHKW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.10.1999
Fabrikat	Lemkers
Typ	Yentz BF 6 M 1013 E
Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	120 kW
Gesamtfeuerungsleistung	170 kW
Stromkennzahl	0,50
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	285.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Vergütung nach EEG**

Vergütungsregelung nach	EEG 2000
Grundvergütung bis 500 kW elektrisch	7,67 ct/kWh
Technologiebonus	nein
KWK Bonus	nein
BImSchG Genehmigung erforderlich ?	nein
Einhaltung Formaldehydgrenzwert TA Luft	entfällt
Restlaufzeit für EEG Vergütung	10 Jahre

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
EEG Vergütung	7,67 ct/kWh	- 21.859,50 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 5.258,25 €

---

**Jahreskosten gerundet 88.200,00 €**

---



**1.3 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über KWK  
vorhandenes BHKW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.10.1999
Fabrikat	Lemkers
Typ	Yentz BF 6 M 1013 E
Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	120 kW
Gesamtfeuerungsleistung	170 kW
Stromkennzahl	0,50
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	285.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	468.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

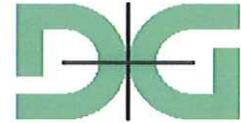
**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	neue Bestandsanlage
Dauer der Zuschlagsvergütung	Es gibt nur für 2009 einen Zuschlag
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	nicht möglich
zuschlagsfähige Strommenge 2009	234.000 kWh/a
	0,56 ct/kWh

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
Quartalsbörsenpreis 1/2009	4,74 ct/kWh	- 13.494,75 €
vermindertes Netznutzungsentgeld (geschätzt)	0,50 ct/kWh	- 1.425,00 €
KWK Umlage	0,56 ct/kWh	- 1.310,40 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 5.258,25 €

**Jahreskosten gerundet 93.800,00 €**



**2.1 jährliche Stromkosten bei Eigenverwertung des BHKW Strom  
neues BHKW, elektrische Leistung 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	50 kW
thermische Leistung	82 kW
Gesamtfeuerungsleistung	148 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	557.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif	273.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif	284.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Stromkosten**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	19.960,01 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	16.154,49 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	13.588,02 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.489,98 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	463,98 €

**Jahreskosten (gerundet)**

**76.400,00 €**



**2.2 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über EEG  
neues BHKW, elektrische Leistung 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009	
Fabrikat	--	
Typ	--	
Anzahl	1	
elektrische Leistung	50 kW	
thermische Leistung	82 kW	
Gesamtfeuerungsleistung	148 kW	
Stromkennzahl	0,61	
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a	

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Vergütung nach EEG**

Vergütungsregelung nach	EEG 2000
Grundvergütung bis 500 kW elektrisch	7,67 ct/kWh
Technologiebonus	nein
KWK Bonus	nein
BImSchG Genehmigung erforderlich ?	nein
Einhaltung Formaldehydgrenzwert TA Luft	entfällt
Restlaufzeit für EEG Vergütung	10 Jahre

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
EEG Vergütung	7,67 ct/kWh	- 28.839,20 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 6.937,20 €

---

**Jahreskosten gerundet 79.600,00 €**

---



**2.3 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über KWK  
neues BHKW, elektrische Leistung 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	50 kW
thermische Leistung	82 kW
Gesamtfeuerungsleistung	148 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	KWK Anlage bis 50 kW nach 01.01.2009
Dauer der Zuschlagsvergütung	10 Jahre
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	möglich
zuschlagsfähige Strommenge	50.000 kWh/a
Zuschlagssatz	5,11 ct/kWh

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
Quartalsbörsenpreis 1/2009	4,74 ct/kWh	- 17.803,60 €
vermindertes Netznutzungsentgeld (geschätzt)	0,50 ct/kWh	- 1.880,00 €
KWK Zuschlag	5,11 ct/kWh	- 2.555,00 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 6.937,20 €

---

**Jahreskosten gerundet 86.200,00 €**

---



**2.4 jährliche Stromkosten bei Eigenverwertung des BHKW Stroms und Vergütung über KWK - neues BHKW, elektrische Leistung 50 kW**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--

Anzahl	1
elektrische Leistung	50 kW
thermische Leistung	82 kW
Gesamtfeuerungsleistung	148 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	7.500 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	557.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	273.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	284.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	KWK Anlage bis 50 kW nach 01.01.2009
Dauer der Zuschlagsvergütung	10 Jahre
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	möglich
zuschlagsfähige Strommenge	50.000 kWh/a
Zuschlagssatz	5,11 ct/kWh

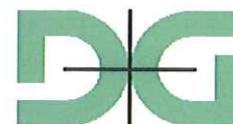
**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	19.960,01 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	16.154,49 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	13.588,02 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.489,98 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	463,98 €
KWK Zuschlag	5,11 ct/kWh	- 2.555,00 €

---

**Jahreskosten (gerundet) 73.900,00 €**

---



**3.1 jährliche Stromkosten bei Eigenverbrauch des BHKW Stroms  
 neues BHKW, elektrische Leistung > 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	98 kW
Gesamtfeuerungsleistung	178 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	6.200 h/a

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	557.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif	273.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif	284.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	19.960,01 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	16.154,49 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	13.588,02 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.489,98 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	463,98 €

---

**Jahreskosten (gerundet) 76.400,00 €**

---



**3.2 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über EEG  
neues BHKW, elektrische Leistung > 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009	
Fabrikat	--	
Typ	--	
Anzahl	1	
elektrische Leistung	60 kW	
thermische Leistung	98 kW	
Gesamtfeuerungsleistung	178 kW	
Stromkennzahl	0,61	
Laufzeit je BHKW pro Jahr	6.200 h/a	

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Vergütung nach EEG**

Vergütungsregelung nach	EEG 2000
Stromkosten 2008	7,67 ct/kWh
Technologiebonus	nein
KWK Bonus	nein
BImSchG Genehmigung erforderlich ?	nein
Einhaltung Formaldehydgrenzwert TA Luft	entfällt
Restlaufzeit für EEG Vergütung	10 Jahre

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
EEG Vergütung	7,67 ct/kWh	- 28.839,20 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 6.937,20 €

**Jahreskosten gerundet**

**79.600,00 €**



**3.3 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des BHKW Stroms über KWK  
neues BHKW, elektrische Leistung > 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--

Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	98 kW
Gesamtfeuerungsleistung	178 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	6.200 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	KWK Anlage 50 kW bis 2 MW nach 01.01.2009
Stromkosten 2008	6 Jahre bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	möglich

zuschlagsfähige Strommenge	50.000 kWh/a
Zuschlagssatz	4,61 ct/kWh

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €

Quartalsbörsenpreis 1/2009	4,74 ct/kWh	-	17.803,60 €
vermindertes Netznutzungsentgelt (geschätzt)	0,50 ct/kWh	-	1.880,00 €
KWK Zuschlag	4,61 ct/kWh	-	2.304,17 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	-	6.937,20 €

---

**Jahreskosten gerundet 86.400,00 €**

---



**3.4 jährliche Stromkosten bei Eigenverwertung des BHKW Stroms und Vergütung über KWK - neues BHKW, elektrische Leistung > 50 kW**

**BHKW Daten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	60 kW
thermische Leistung	98 kW
Gesamtfeuerungsleistung	178 kW
Stromkennzahl	0,61
Laufzeit je BHKW pro Jahr	6.200 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der BHKW Anlage	376.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	557.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	273.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	284.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	KWK Anlage 50 kW bis 2 MW nach 01.01.2009
Dauer der Zuschlagsvergütung	6 Jahre bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden
Stromkosten 2008	möglich
zuschlagsfähige Strommenge	50.000 kWh/a
Zuschlagssatz	4,61 ct/kWh

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	19.960,01 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	16.154,49 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	13.588,02 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.489,98 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	463,98 €
KWK Zuschlag	4,61 ct/kWh	- 2.304,17 €

---

**Jahreskosten (gerundet) 74.100,00 €**

---



#### 4.4 jährliche Stromkosten bei Eigenverwertung des Stroms und Vergütung über KWK - Microgasturbine

##### Maschinendaten

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	65 kW
thermische Leistung	121 kW
Gesamtfeuerungsleistung	224 kW
Stromkennzahl	0,54
Laufzeit je Maschine pro Jahr	8.000 h/a

##### Energiedaten 2008

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a
Stromerzeugung in der KWK Anlage	339.000 kWh/a
Strombezug vom EVU	594.000 kWh/a
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	291.000 kWh/a ~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	303.000 kWh/a ~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a
beantragte Leistung	168 kW

##### Vergütung nach KWK

Anlagenkategorie	KWK Anlage 50 kW bis 2 MW nach 01.01.2006
Dauer der Zuschlagsvergütung	6 Jahre bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	möglich
zuschlagsfähige Strommenge	45.000 kWh/a
KWK Zuschlag	4,42 ct/kWh

##### Stromkosten 2008

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	21.276,06 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	17.235,25 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	14.490,63 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.987,52 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	494,80 €
KWK Zuschlag	4,42 ct/kWh	- 1.986,92 €

**Jahreskosten (gerundet)**

**78.300,00 €**



**4.3 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des Stroms über KWK  
Microgasturbine**

**Maschinendaten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	65 kW
thermische Leistung	121 kW
Gesamtheizleistung	224 kW
Stromkennzahl	0,54
Laufzeit je Maschine pro Jahr	8.000 h/a

**Energiedaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der KWK Anlage	339.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
verwertete Wärmemenge im Sinne KWK	80.000 kWh/a	
beantragte Leistung	168 kW	

**Vergütung nach KWK**

Anlagenkategorie	KWK Anlage 50 kW bis 2 MW nach 01.01.200
Dauer der Zuschlagsvergütung	6 Jahre bzw. maximal 30.000 Betriebsstunden
KWK Zuschlag bei Eigenverbrauch	möglich
zuschlagsfähige Strommenge	45.000 kWh/a
KWK Zuschlag	4,42 ct/kWh

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,07 ct/kWh	653,10 €
Quartalsbörsenpreis 1/2009	4,74 ct/kWh	- 16.051,65 €
vermindertes Netznutzungsentgelt (geschätzt)	0,50 ct/kWh	- 1.695,00 €
KWK Zuschlag	4,42 ct/kWh	- 1.986,92 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 6.254,55 €

**Jahreskosten gerundet 89.200,00 €**



**4.2 jährliche Stromkosten bei Einspeisung des Stroms über EEG  
Microgasturbine**

**Maschinendaten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009	
Fabrikat	--	
Typ	--	
Anzahl	1	
elektrische Leistung	65 kW	
thermische Leistung	121 kW	
Gesamtfeuerungsleistung	224 kW	
Stromkennzahl	0,54	
Laufzeit je Maschine pro Jahr	8.000 h/a	

**Stromdaten 2008**

Strombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der KWK Anlage	339.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	933.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif (prozentual hochgerechnet)	457.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif (prozentual hochgerechnet)	476.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Vergütung nach EEG**

Vergütungsregelung nach	EEG 2000
Grundvergütung bis 500 kW elektrisch	7,67 ct/kWh
Technologiebonus	nein
KWK Bonus	nein
BlmSchG Genehmigung erforderlich ?	nein
Einhaltung Formaldehydgrenzwert TA Luft	entfällt
Restlaufzeit für EEG Vergütung	10 Jahre

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	33.412,92 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	27.075,83 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	22.760,54 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	12.546,05 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	777,19 €
EEG Vergütung	7,67 ct/kWh	- 26.001,30 €
Stromsteuerersparnis ~ 90 % des Stroms	2,05 ct/kWh	- 6.254,55 €

---

**Jahreskosten gerundet 83.100,00 €**

---



**4.1 jährliche Stromkosten bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms  
Microgasturbine**

**BHKW Daten**

**Maschinendaten**

Inbetriebnahmedatum	01.08.2009
Fabrikat	--
Typ	--
Anzahl	1
elektrische Leistung	65 kW
thermische Leistung	121 kW
Gesamtfeuerungsleistung	224 kW
Stromkennzahl	0,54
Laufzeit je Maschine pro Jahr	8.000 h/a

**Stromdaten 2008**

Srombedarf Kläranlage	933.000 kWh/a	
Stromerzeugung in der KWK Anlage	339.000 kWh/a	
Strombezug vom EVU	594.000 kWh/a	
Anteil Hochtarif	291.000 kWh/a	~ 49%
Anteil Niedertarif	303.000 kWh/a	~ 51%
mittlerer Leistungsbezug	168 kW	

**Stromkosten 2008**

	E.P.	G.P.
Leistungspreis	111,67 €/kW a	18.760,49 €
HT Tarif	7,31 ct/kWh	21.276,06 €
NT Tarif	5,69 ct/kWh	17.235,25 €
Stromsteuer	2,44 ct/kWh	14.490,63 €
EEG Abgabe (im Jahresmittel)	1,34 ct/kWh	7.987,52 €
KWK Umlage (im Jahresmittel)	0,08 ct/kWh	494,80 €

---

**Jahreskosten (gerundet) 80.200,00 €**

---

**Kläranlage Garching**  
**Studie zur Optimierung der Klärgasverwertung**

Stand: 14.04.2009  
 Druck: 25.06.2009

**Variante 1: Generalüberholung des vorhandenen BHKWs**

**Erstinvestition (einschl. Mehrwertsteuer und Nebenkosten)**

**- Bauteile mit 10 Jahren Lebensdauer**

Generalüberholung des BHKWs	20.000 €
<b>Summe</b>	<b>20.000 €</b>

<b>Erstinvestition gesamt</b>	<b>20.000 €</b>
<b>Reinvestitionen nach 5 Jahren</b>	<b>20.000 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die ersten 6 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,670 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung gemäß Berechnung 1.1		
-285.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-29.640 €
Wartungskosten BHKW		
1 psch		3.500 €
Ersatzteilkosten BHKW		
1 psch		1.500 €

<b>Summe jährliche Kosten der ersten 6 Jahre (gerundet)</b>	<b>91.200 €</b>
---	-----------------

**Jährliche Betriebskosten für die 7 - 10 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,670 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung gemäß Berechnung 1.1		
-285.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-29.640 €
Wartungskosten BHKW		
1 psch		3.500 €
Ersatzteilkosten BHKW		
1 psch		1.500 €

<b>Summe jährliche Kosten der Jahre 7 - 10 (gerundet)</b>	<b>91.200 €</b>
---	-----------------

**Kläranlage Garching**  
**Studie zur Optimierung der Klärgasverwertung**

Stand: 14.04.2009  
 Druck: 25.06.2009

**Variante 2: neues BHKW, 50 kW elektrischer Leistung**

**Erstinvestition (einschl. Mehrwertsteuer und Nebenkosten)**

**- Bauteile mit 10 Jahren Lebensdauer**

neues BHKW mit Wärmemengenzähler	125.000 €
<hr/>	
Summe	125.000 €
<b>Erstinvestition gesamt</b>	<b>125.000 €</b>
<b>Reinvestitionen</b>	<b>0 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die ersten 6 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung BHKW gemäß Berechnung 2.4		
-376.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-39.104 €
KWK Zuschlagsvergütung gemäß Berechnung 2.4		
-50.000 kWh/a	0,051 €/kWh	-2.555 €
Vollwartungsvertrag		
7.500 h/a	1,63 €/h	12.227 €
Ersatzteilkosten BHKW (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<hr/>		
<b>Summe jährliche Kosten der ersten 6 Jahre (gerundet)</b>		<b>86.400 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die 7 - 10 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung BHKW gemäß Berechnung 2.4		
-376.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-39.104 €
KWK Zuschlagsvergütung gemäß Berechnung 2.4		
-50.000 kWh/a	0,051 €/kWh	-2.555 €
Wartungsvertrag		
7.500 h/a	1,63 €/h	12.227 €
Ersatzteilkosten BHKW (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<hr/>		
<b>Summe jährliche Kosten der Jahre 7 - 10 (gerundet)</b>		<b>86.400 €</b>

**Kläranlage Garching**  
**Studie zur Optimierung der Klärgasverwertung**

Stand: 14.04.2009  
 Druck: 25.06.2009

**Variante 3: neues BHKW , 60 kW elektrischer Leistung**

**Erstinvestition (einschl. Mehrwertsteuer und Nebenkosten)**

**- Bauteile mit 10 Jahren Lebensdauer**

neues BHKW mit Wärmemengenzähler		140.000 €
<b>Summe</b>		<b>140.000 €</b>
<b>Erstinvestition gesamt</b>		<b>140.000 €</b>
<b>Reinvestitionen</b>		<b>0 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die ersten 6 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung BHKW gemäß Berechnung 3.4		
-376.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-39.104 €
KWK Zuschlagsvergütung gemäß Berechnung 3.4		
-50.000 kWh/a	0,046 €/kWh	-2.305 €
Wartungskosten BHKW		
6.200 h/a	1,63 €/h	10.108 €
Ersatzteilkosten BHKW (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<b>Summe jährliche Kosten der ersten 6 Jahre (gerundet)</b>		<b>84.500 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die 7 - 10 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenverbrauch des erzeugten Stroms		
-376.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-39.104 €
Wartungskosten BHKW		
6.200 h/a	1,63 €/h	10.108 €
Ersatzteilkosten BHKW (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<b>Summe jährliche Kosten der Jahre 7 - 10 (gerundet)</b>		<b>86.800 €</b>

Kläranlage Garching  
Studie zur Optimierung der Klärgasverwertung

Stand: 14.04.2009  
Druck: 25.06.2009

**Variante 4: Microgasturbine , 65 kW elektrischer Leistung**

**Erstinvestition (einschl. Mehrwertsteuer und Nebenkosten)**

**- Bauteile mit 10 Jahren Lebensdauer**

Microgasturbine mit Wärmemengenzähler		240.000 €
Summe		240.000 €
<b>Erstinvestition gesamt</b>		<b>240.000 €</b>
<b>Reinvestitionen</b>		<b>0 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die ersten 6 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenstromerzeugung gemäß Berechnung 4.4		
-339.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-35.256 €
KWK Zuschlagsvergütung gemäß Berechnung 4.4		
-45.000 kWh/a	0,044 €/kWh	-1.989 €
Wartungskosten Microgasturbine		
8.000 h/a	0,42 €/h	3.332 €
Ersatzteilkosten Microgasturbine (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<b>Summe jährliche Kosten der ersten 6 Jahre (gerundet)</b>		<b>81.900 €</b>

**Jährliche Betriebskosten für die 7 - 10 Jahre**

Stromkosten Kläranlage (Mittelpreis 2008 ohne Leistungspreis)		
933.000 kWh/a	0,104 €/kWh	97.032 €
Leistungspreis		
168 kW	111,67 €/a	18.760 €
Eigenverbrauch des erzeugten Stroms gemäß Berechnung 4.1		
-339.000 kWh/a	0,104 €/kWh	-35.256 €
Wartungskosten Microgasturbine		
8.000 h/a	0,42 €/h	3.332 €
Ersatzteilkosten Microgasturbine (in Wartungskosten enthalten)		0 €
<b>Summe jährliche Kosten der Jahre 7 - 10 (gerundet)</b>		<b>83.900 €</b>

Betrachtungszeitraum:	n	10 Jahre
Realzins:	r	3%
Preissteigerung Investkosten:	i <sub>1</sub>	0%
Preissteigerung Betriebskosten:	i <sub>2</sub>	0%
Betriebskostenänderung	--	0%
Investitionskostenänderung	--	0%

Kostenart	Umrechnungs-faktoren	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
		Generalüberholung des vorhandenen BHKWs		neues BHKW mit 50 kW elektrischer Leistung		neues BHKW mit 75 kW elektrischer Leistung		Microgasturbine	
		nominale Kosten	Barwert	nominale Kosten	Barwert	nominale Kosten	Barwert	nominale Kosten	Barwert
		€	€	€	€	€	€	€	€
Investitionskosten (IK) IKR*DFAKE(r;n)*AFAKE(i <sub>1</sub> ;n) n = 0 a	1,00000	20.000	20.000	125.000	125.000	140.000	140.000	240.000	240.000
Zwischensumme IK			20.000		125.000	140.000	140.000	240.000	240.000
Reinvestitionskosten (IKR) IKR*DFAKE(r;n)*AFAKE(i <sub>1</sub> ;n) n = 5 a	0,86261	20.000	17.252	0	0	0	0	0	0
Zwischensumme IKR			17.252		0		0		0
2009 bis 2014 LK* DFAKRP(r;i <sub>2</sub> ;n <sub>1</sub> ) n <sub>1</sub> = 6 a	5,41719	91.200	494.048	86.400	468.045	84.500	457.753	81.900	443.668
2015 bis 2019 LK* DFAKRP(r;i <sub>2</sub> ;n <sub>2</sub> )* AFAKE(r;n <sub>1</sub> )*DFAKE(i <sub>2</sub> ;n <sub>1</sub> ) n <sub>2</sub> = 4 a	3,11301	91.200	283.907	86.400	268.964	86.800	270.209	83.900	261.182
Zwischensumme LK			777.954		737.010		727.962		704.850
<b>Projektkostenbarwert € (gerundet)</b>			<b>815.000</b> 100%		<b>862.000</b> 106%		<b>868.000</b> 107%		<b>945.000</b> 116%