

# **Modernisierung der BHKW-Anlage auf der Kläranlage Ahrensburg**

## **Studie (Kurzfassung)**

**Bearbeitung**  
**B.Eng. S. Takes**  
**Dr.-Ing. G. Seibert-Erling**

**Aufgestellt:**  
**Frechen, den 30.01.2013**

**Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling**  
**setacon GmbH**

setacon GmbH, Augustinusstraße 9b, 50226 Frechen  
Tel.: + 49 (2234) 988095-0, Fax: +49 (2234) 988095-11

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Energetische Gesamtsituation.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Situation im Bereich der Eigenerzeugung.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b>Beschreibung der bestehenden BHKW-Anlage .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4</b>	<b>Betriebsverhalten der bestehenden BHKW-Anlage.....</b>	<b>9</b>
<b>2.5</b>	<b>Kosten der bestehenden BHKW-Anlage.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6</b>	<b>Nutzen aus dem Betrieb der bestehenden BHKW-Anlage .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Modernisierung der bestehenden Anlage .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>Randbedingungen für die Auslegung.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Überschlägige Bestimmung der Baugröße .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Vergütung nach dem KWKG .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Grundlagen der Vergütung.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Berechnung der Vergütung für das neue Modul.....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Kosten und Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Variantenuntersuchung .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsberechnung .....</b>	<b>25</b>
<b>5.4</b>	<b>Anforderungen des Netzbetreibers.....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Empfehlung .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Literatur und Quellen.....</b>	<b>31</b>

## 1 Veranlassung

Die Stadtbetriebe Ahrensburg betreiben auf der Kläranlage Ahrensburg eine BHKW-Anlage. Damit wird das bei der Schlammfäulung anfallende Klärgas zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Die vorhandene Anlage besteht aus zwei Modulen und ist seit 2006 in Betrieb; bei einer vorgesehenen Nutzungsdauer von 10 Jahren ist etwas mehr als die Hälfte der Lebensdauer erreicht. Für eine Modernisierung oder Erweiterung besteht dennoch keine unmittelbare Veranlassung.

Aufgrund veränderter gesetzlicher Rahmenbedingungen für den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung infolge der im Juli 2012 in Kraft getretenen Novelle des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes (KWKG) [1] und der in diesem Zuge deutlich angehobenen finanziellen Begünstigung *fabrikneuer* Anlagen im mittleren Leistungsbereich von 50 - 250 kWel stellt sich allerdings die Frage, ob anstelle des Weiterbetriebs der vorhandenen Module nicht die Erweiterung um ein (förderfähiges) neues BHKW-Modul die wirtschaftlichere Lösung ist. Aufgrund der technischen Weiterentwicklung im BHKW-Bereich kann möglicherweise sogar die Stromproduktion aus Klärgas weiter erhöht und der Stromfremdbezug entsprechend dauerhaft reduziert werden. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die Aggregate auch mit *Erdgas* zu betreiben; ein entsprechend groß ausgelegter Anschluss ist vorhanden. Das ist deshalb interessant, weil die KWK-Förderung unabhängig davon gewährt wird, ob der eingesetzte Energieträger regenerativ ist (Klärgas) oder aus fossilen Quellen (Erdgas) stammt. Entscheidend ist in diesem Fall die gegenüber konventionellen Kraftwerken insgesamt höhere Gesamteffizienz, die durch die Erfüllung des sog. Hocheffizienzkriteriums nachgewiesen sein muss. Heutige moderne BHKW-Anlagen erfüllen diese Anforderung in der Regel. Der BHKW-Betrieb bzw. die (Eigen-) Stromerzeugung mit Erdgas wird vor allem deshalb zunehmend attraktiver, weil der Preis für Erdgas derzeit deutlich geringer mit Steuern und sonstigen verbrauchsabhängigen Umlagen beaufschlagt ist als der Strompreis; wegen des fast sprunghaften Anstieges der Umlagen auf dem Strompreis (EEG, etc.) wird sich dieses Verhältnis in den nächsten Jahren tendenziell noch zugunsten des Gaspreises verschieben.

Ein weiterer bislang wenig beachteter Aspekt sind die durch den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung verursachten Netzprobleme, zu deren Behebung die Betreiber von Energieerzeugungsanlagen seit etwa einem Jahr schrittweise neue Vorgaben (Mittel- und Niederspannungsrichtlinie) einhalten müssen.

Die Stadtbetriebe Ahrensburg haben das Büro setacon GmbH mit der Untersuchung der beschriebenen Fragestellungen beauftragt. Die Ergebnisse der Studie werden hiermit vorgelegt.

## 2 Ausgangssituation

Die Ausgangssituation ist im Wesentlichen durch die energetische Situation der Kläranlage charakterisiert. Hierzu wird auf die Ergebnisse einer 2002 durchgeführten Energieanalyse [2] zurückgegriffen. Darauf aufbauend wird dann die Entwicklung in den letzten 10 Jahren berücksichtigt, sodass die Ergebnisse und Prognosen dieser Studie auf einer soliden langfristigen Entwicklung aufbauen. Für die Untersuchungen ist weiterhin der technische Aufbau der vorhandenen BHKW-Anlage und deren Einbindung in das Stromversorgungsnetz und in die Wärmeversorgung der Kläranlage interessant.

### 2.1 Energetische Gesamtsituation

Die Kläranlage Ahrensburg hat eine Ausbaugröße von 50.000 EW. Die Auslastung beträgt derzeit 38.000 EW. Die zulaufende Abwassermenge liegt bei rd. 2.400.000 m<sup>3</sup>/a.

Die energetische Situation der Kläranlage wurde zuletzt 2002/2003 im Rahmen einer energetischen Grob- und Feinanalyse beleuchtet. Seinerzeit lag der spezifische Stromverbrauch bei 83 kWh/(EW a) gegenüber einem anlagenspezifischen Richtwert von 40 kWh/(EW a). Anzumerken ist, dass die Konzeption der Anlage durch die möglichst vollständige Nutzung der seinerzeit vorhandenen Bausubstanz und durch die Wasser- und Schlammführung in einem Hochkanal gegenüber anderen Kläranlagen zu einem deutlich erhöhten Energieverbrauch führt, der ohne umfangreiche Baumaßnahmen nicht auf ein übliches Niveau gesenkt werden kann. Durch die Realisierung der vorgeschlagenen Einsparmaßnahmen konnte der spezifische Verbrauch jedoch immerhin schon auf 58 kWh/(EW a) gesenkt werden.

Der Strombedarf wird anteilig durch Eigenproduktion aus Klärgas mittels BHKW gedeckt. Einen großen Einfluss auf die produzierte Strommenge hat neben der üblichen Klärgasproduktion aus dem anfallenden Schlamm die Zugabe von Fetten (aus Fettabscheidern, etc.) in den Faulturm. Mit der bislang angenommenen Menge wird die für Anlagen dieser Größenklasse übliche Klärgasproduktion nahezu verdoppelt. Allerdings kann die Fettmenge deutlich schwanken und war tendenziell rückläufig. Durch verstärkte Bemühungen ist es jedoch gelungen, im Jahr 2012 die Menge um fast 80 % zu steigern. Zwar lassen sich die Anlieferungen aufgrund ihrer inhomogenen Zusammensetzung nicht in eine proportionale Faulgasmenge umrechnen, der Einfluss ist jedoch aufgrund des um 10 % gestiegenen Faulgasanfalls deutlich wahrzunehmen. Das wirkt sich wiederum unmittelbar auf die Eigenstromerzeugung aus, die im Jahr 2012 mit 68 % einen für die Kläranlage Ahrensburg „historischen“ Höchststand erreicht hat. In den Jahren 2000 - 2005 lag das Niveau nur bei 30 - 40 %.

Unter energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist der verbleibende Stromfremdbezug relevant und hier vor allem der seit Jahren stetig steigende Strompreis. Aus den Betriebsdaten der letzten 12 Jahre lässt sich ableiten, dass sich der Strompreis für die Kläranlage Ahrensburg seit dem Jahr 2000 verdoppelt hat, das entspricht auch den Erfahrungen anderer Betreiber in der Abwasserbranche (Bild 1). Demnach liegt die Steigerungsrate in den letzten Jahren bei ca. 7 % und steigt zudem in den nächsten 2 Jahren auf ca. 10 %.

Auf der Kläranlage Ahrensburg ist es durch die schrittweise Umsetzung der Maßnahmen aus der Energieanalyse und weitere anlagentechnische Veränderungen gelungen, den Gesamtstromverbrauch kontinuierlich Jahr für Jahr zu reduzieren und zudem die Eigenproduktion aus Klärgas zu erhöhen (Bild 2). Für die energetische Gesamtbetrachtung ist noch der Erdgasverbrauch zu berücksichtigen. Erdgas wird zur Wärmeerzeugung eingesetzt, jedoch nur wenn der Bedarf mit der BHKW-Nutzwärme in den Wintermonaten nicht gedeckt werden kann. Bezogen auf den Primärenergiegehalt bewegt sich der Anteil jedoch im Bereich von nur etwa 5 % des gesamten Gasverbrauchs. Insgesamt haben die Anstrengungen der letzten Jahre dazu geführt, dass die Kosten des Stromfremdbezuges heute trotz der Verdoppelung des spezifischen Preises den Wert aus dem Jahr 2000 sogar um 5 % unterschreiten. Zwar mussten für die energetische Optimierung entsprechende Investitionen getätigt werden, diese waren aber zum überwiegenden Teil bei den damals niedrigen Strompreisen schon wirtschaftlich. Mit steigenden Preisen hat sich die Rentabilität noch verbessert. Hätte man anders herum alle Anstrengungen unterlassen, dann läge die jährliche Stromrechnung nicht mehr bei 142.458 EUR wie im Jahr 2000, sondern aufgrund des erhöhten Strompreises bei 334.160 EUR. Die kumulierten Mehrkosten würden gar bei einer Summe von 1,083 Mio. EUR enden.

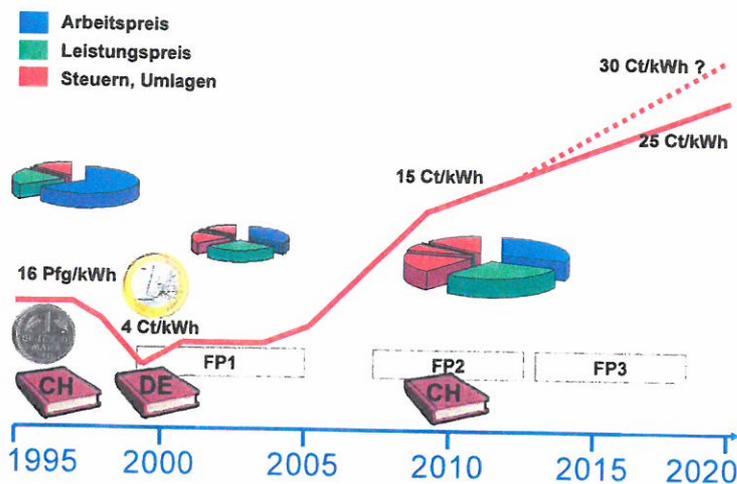


Bild 1: Entwicklung der Strompreise im Abwasserbereich

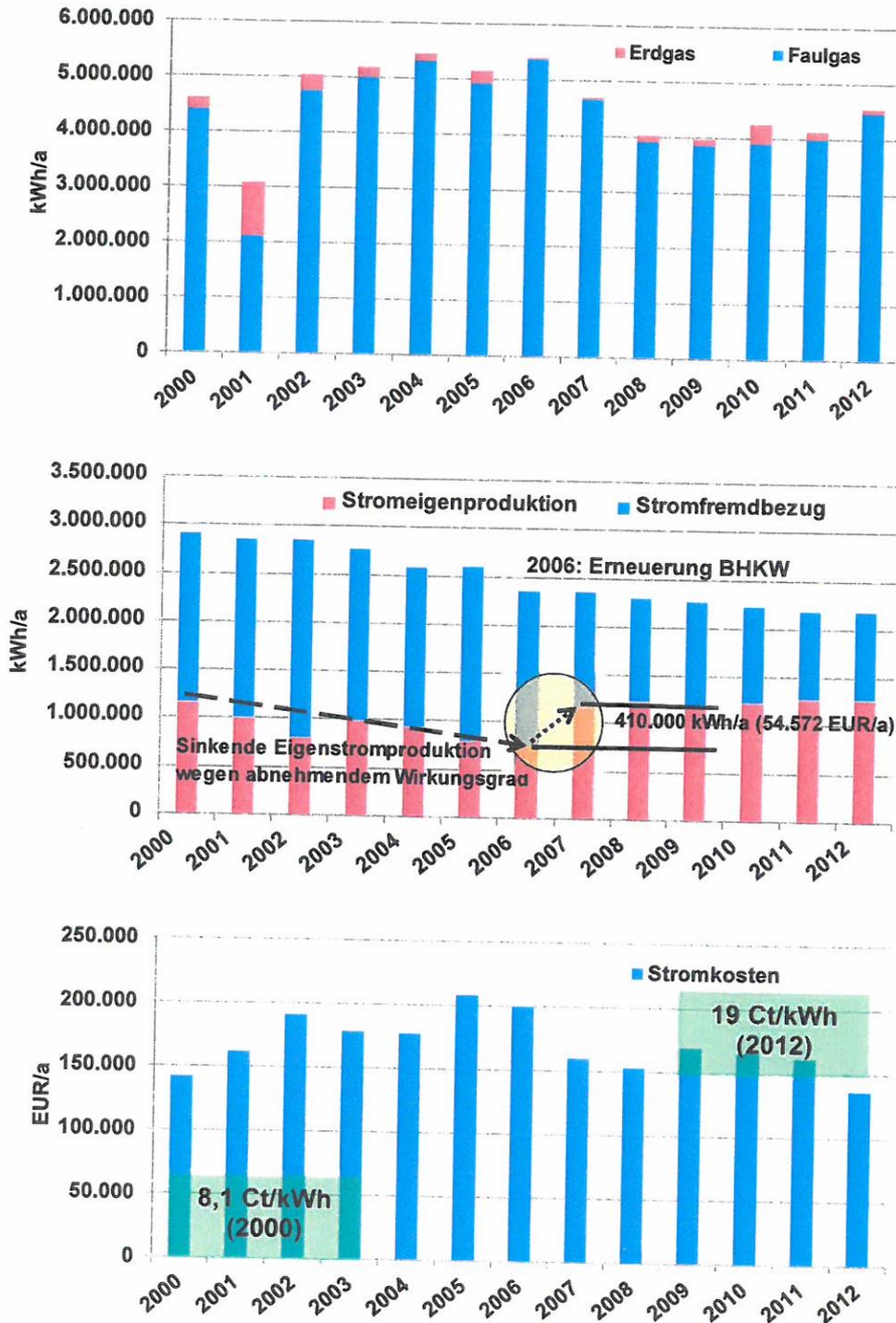


Bild 2: Gasverbrauch, Stromverbrauch, anteilige Eigenerzeugung und Kosten bzw. Strompreis

## 2.2 *Situation im Bereich der Eigenerzeugung*

Die Energiekosten der Kläranlage Ahrensburg hängen entscheidend von der effizienten Nutzung des anfallenden Klärgases ab. Durch eine Kraft-Wärme-Kopplung mittels BHKW-Anlagen wird hier grundsätzlich schon seit ca. 20 Jahren eine fortschrittliche Technologie eingesetzt, die sich im praktischen Kläranlagenbetrieb bewährt hat und in den letzten Jahren bedingt durch den Boom im Biogassektor einen Entwicklungsschub erfahren hat.

Die Anlagen müssen aufgrund der hohen Beanspruchung (Dauerbetrieb) des Verbrennungsmotors zyklisch alle ca. 10 - 15 Jahre erneuert werden. Die letzte Erneuerung erfolgte 2006 mit der Folge einer Steigerung der Eigenstromerzeugung um ca. 50 %. Die Kosten des Strombezuges dürften entsprechend um etwa 40.000 EUR/a gesunken sein.

Daran lässt sich ermessen, dass bei BHKW-Anlagen der altersbedingte Verschleiß nicht zu vernachlässigen ist und außerdem die mit dem technologischen Fortschritt verbundene Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrades durchaus relevant ist. Es empfiehlt sich aus diesen Gründen, die vorhandenen Anlagen regelmäßig zu überprüfen und die tatsächliche Leistungsfähigkeit mit den spezifischen Werten neuer Aggregate zu vergleichen. Allerdings sollte man sich dabei nicht auf Angaben aus Broschüren stützen, sondern von infrage kommenden Herstellern Datenblätter oder Garantiewerte einfordern.

Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten fallen die Kosten für die Wartung und Instandhaltung durchaus ins Gewicht; über die gesamte Lebensdauer können sie durchaus im Bereich der Investitionskosten liegen. In den letzten Jahren wurden hier durch Rationalisierung der Wartungsarbeiten deutliche Fortschritte erzielt, die zu einer Stabilisierung der Kosten beigetragen haben. Demgegenüber ist allerdings auch festzustellen, dass die Aggregate nicht mehr die Robustheit früherer Jahre aufweisen. Die diesbezüglichen Anforderungen haben sich allerdings auch wegen der zuvor beschriebenen Randbedingungen (Förderung fabrikneuer Module, technologischer Fortschritt, etc.) deutlich abgeschwächt.

Insgesamt betrachtet stellt sich nicht die Frage nach einer grundsätzlichen Änderung der Technologie oder der Art der Klärgasnutzung. Es kommt vielmehr darauf an, die vorhandenen anlagentechnischen Kapazitäten optimal einzusetzen und rechtzeitig zu ergänzen oder zu modernisieren.

### 2.3 Beschreibung der bestehenden BHKW-Anlage

Die BHKW-Anlage der Kläranlage Ahrensburg besteht aus zwei Modulen, Fabr. Kuntschar + Schlüter, Typ GTK 150 (Bild 3). Die Module haben nach Herstellerangaben eine elektrische Leistung von 150 kW und eine thermische Leistung von 193 kW. Zu erwähnen ist noch, dass in dem BHKW-Gebäude bereits der Platz zum Anschluss eines weiteren Moduls berücksichtigt ist einschließlich der elektrischen, hydraulischen und gaseitigen Anbindung.

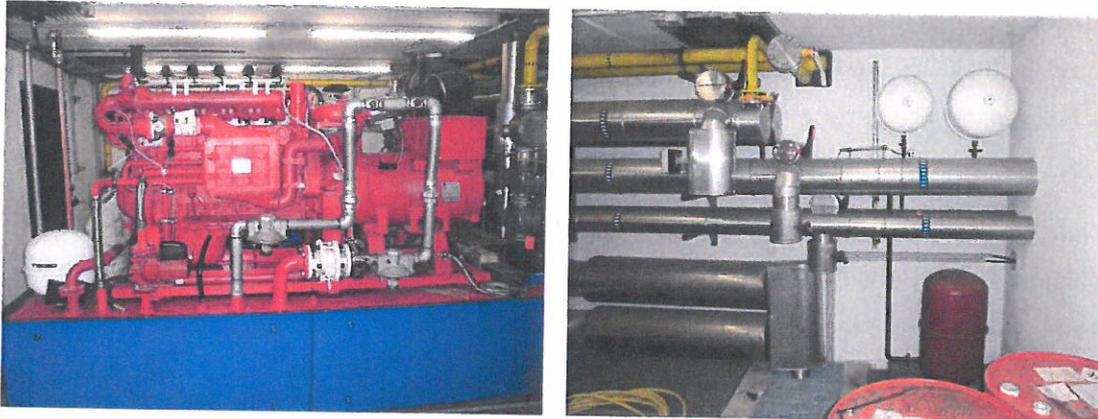


Bild 3: BHKW-Anlage, freier Stellplatz mit hydraulischer und gaseitiger Anbindung

Die vom Betriebspersonal gemessenen Wirkungsgrade liegen bei etwa 37 % elektrisch und 50 % thermisch im Klärgasbetrieb bei Vollast. Im betrieblich bedingten Teillastbetrieb reduziert sich dieser Wert. Bezogen auf die Jahreswerte mit einem angenommenen Heizwert von 6,2 kWh/Nm<sup>3</sup> liegt der elektrische Wirkungsgrad im Bereich von 31 - 34 %. Tatsächlich dürfte der Wert geringfügig höher liegen, weil in den jährlichen Gasmengen noch geringe Fackelverluste enthalten sind. Die besten Werte wurden in 2012 erreicht, was offensichtlich auf den erhöhten Gasanfall und die sich daraus ergebende gute Auslastung zurückzuführen ist.

Im Normalbetrieb werden die beiden Module in Abhängigkeit des Klärgasanfalls betrieben. Die Module erreichen dann aufgrund einer Auswertung der Betriebsdaten bisher eine jährliche Laufzeit von etwa 5.000 Bh. In 2012 wurde allerdings eine deutlich höhere Gesamtlaufzeit von 12.663 Bh erreicht.

Zum Jahresende 2012 stellt sich die Situation in Bezug auf die Laufzeiten und die Wartung und Instandhaltung wie folgt dar:

- Modul 1 (492): Laufzeit 33.000 Bh, nicht überholt
- Modul 2 (491): Laufzeit 32.000 Bh, überholt 2011 (Motorschaden)

## 2.4 Betriebsverhalten der bestehenden BHKW-Anlage

Der Betrieb der Module orientiert sich in erster Linie am Gasanfall. Der Gasanfall schwankt in einem Bereich zwischen 1.500 und 3.000 Nm<sup>3</sup>/d. Im Bild 4 ist der Verlauf der Tageswerte für 2011/2012 dargestellt, außerdem die sich daraus ergebende Häufigkeitsverteilung. Umgerechnet lässt sich mit den bestehenden Modulen daraus eine elektrische Leistung im Bereich von ca. 120 - 180 kW erzeugen. Dieser Bereich liegt bei der vorhandenen Anlage allerdings genau im Übergang von einem auf zwei Module.

Weil einerseits der elektrische Wirkungsgrad im Teillastbereich unter 70 % deutlich abnimmt und andererseits ein häufiges An- und Abfahren vermieden werden sollte, stellt sich die gewählte Staffelung etwas unglücklich dar. Eine Optimierung des Betriebsverhaltens ist unter den gegebenen Voraussetzungen nur begrenzt möglich.

Anzumerken ist noch, dass am Modul 2 vor kurzem ein Motorschaden aufgetreten ist. Dabei wurde ein Kolben zerstört (sog. Kolbenfresser). Es wäre zwar möglich gewesen, nur diesen einen Kolben bzw. Zylinder zu reparieren. Weil aber die Regelwartung, bei der ein Austausch ohnehin erfolgt wäre, in Kürze angestanden hätte, wurde diese Wartung vorgezogen. Das andere Modul wird die entsprechende Laufzeitgrenze ebenfalls in Kürze erreichen.

Es ist unter Berücksichtigung dieser Erfahrungen durchaus eine Überlegung wert, die Module nicht gleichmäßig auszulasten, sondern einen Unterschied in Kauf zu nehmen mit dem Vorteil, dass man bei auftretenden Schäden oder in Aussicht stehenden Modernisierungs- oder Anpassungsmaßnahmen einen größeren Spielraum für Entscheidungen gewinnt.

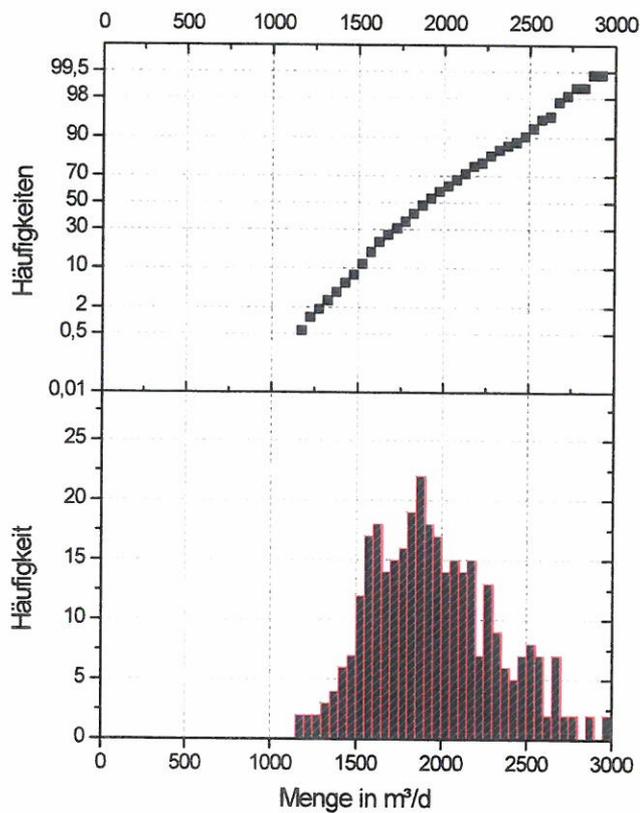
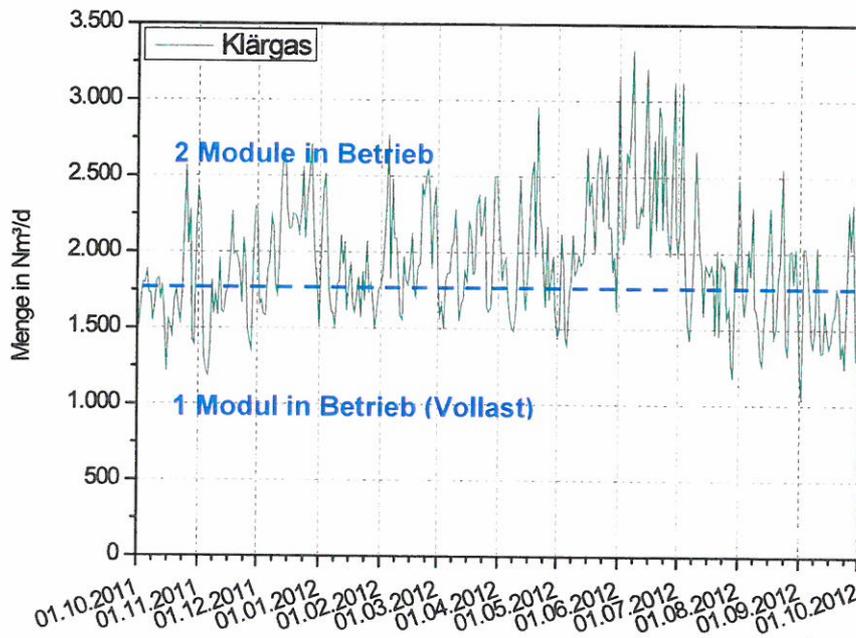


Bild 4: Klärgasanfall, zeitlicher Verlauf (oben) und Häufigkeitsverteilung (unten)

## 2.5 Kosten der bestehenden BHKW-Anlage

Die Investitionskosten der vorhandenen Anlage betragen im Anschaffungsjahr 2006 (Gebäude aus 1992) 533.756,89 EUR. Die Kosten werden linear über die Nutzungsdauer abgeschrieben. Die Buchwerte der einzelnen Anlagenteile sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Anschaffungskosten, Abschreibung, Restbuchwerte

Anlage	Jahr a	AnschWert EUR	kumul AfA EUR	Buchwert EUR	abgeschr. %	Diff. a	Nu-Dauer a
Gebäude	1992	42.948,52	34.767,86	8.180,66	0,81	20	25
BHKW 1	2006	125.375,72	76.245,30	49.130,42	0,61	6	10
BHKW 2	2006	119.518,65	72.701,52	46.817,13	0,61	6	10
Notkühler	2006	36.850,50	22.409,52	14.440,98	0,61	6	10
Verrohrung	2006	67.912,24	41.285,58	26.626,66	0,61	6	10
Eletrotechnik	2006	98.099,42	29.813,67	68.285,75	0,30	6	20
Lärmschutz	2006	19.964,97	12.115,01	7.849,96	0,61	6	10
<b>Summe</b>		<b>533.756,89</b>	<b>312.365,24</b>	<b>221.391,65</b>			

Die laufenden Kosten ergeben sich im Wesentlichen aus dem Aufwand für die Wartung und Instandhaltung. Es wurde ein Vollwartungsvertrag abgeschlossen mit einem Verrechnungspreis pro Betriebsstunde. Die Kosten liegen bei 0,81 EUR (netto), wenn ein einzelnes Aggregat gewartet wird und 0,73 EUR (netto), wenn beide Aggregate gemeinsam gewartet werden. In diesen Kosten sind die Lohnkosten und die üblichen Verschleißteile sowie Schmierstoffe enthalten. Die Kosten für eine Generalüberholung, für Störungsbeseitigungen und sonstige außerplanmäßige Maßnahmen fallen zusätzlich an. Für die bereits durchgeführte Überholung von Modul 2 lagen die Kosten bei 19.280 EUR.

Berücksichtigt man sämtliche Buchungen, dann ergeben sich zum Stand Ende 2012 spezifische Kosten von rd. 2,00 EUR/Bh (brutto). Das ist ein im Vergleich mit anderen Anlagen erhöhter Preis. Allerdings sind hier die Kosten der kürzlich durchgeführten Überholung im vollen Umfang enthalten. Diese Kosten sind jedoch als vorschüssig anzusehen, weil sie sich über die Laufzeit der nächsten 20.000 Bh oder 4 Jahre abtragen. Ohne diesen Anteil lägen die Kosten durchaus im üblichen Rahmen.

Die weiteren mit dem Betrieb zusammenhängenden Kosten (Schornsteinfeger, etc.) fallen nicht ins Gewicht.

## 2.6 Nutzen aus dem Betrieb der bestehenden BHKW-Anlage

Der Nutzen aus dem Betrieb der BHKW-Anlage ergibt sich üblicherweise aus den infolge der Stromproduktion vermiedenen Stromfremdbezugskosten. Bei einer Ausdehnung der Betrachtung auf den Wärmebereich kann bei Bedarf außerdem noch eine Wärmegutschrift für die genutzte Abwärme angerechnet werden.

Im vorliegenden Fall kann sich die Betrachtung auf die Erlöse aus den vermiedenen Kosten für den Stromfremdbezug beschränken. Weil wegen des hohen Stromverbrauchs der Kläranlage eine Rückspeisung ins Netz faktisch nicht auftritt und auch in den nächsten Jahren nicht in Aussicht steht, ergeben sich die Kosten unmittelbar aus der gesamten produzierten Strommenge und dem jeweils aktuellen Strompreis einschließlich aller Umlagen und Steuern (Bild 5). Weil dieser in den letzten Jahren stetig angestiegen ist, steigen die Erlöse im gleichen Maße an, wodurch sich dann auch die Rentabilität der BHKW-Anlage noch verbessert.

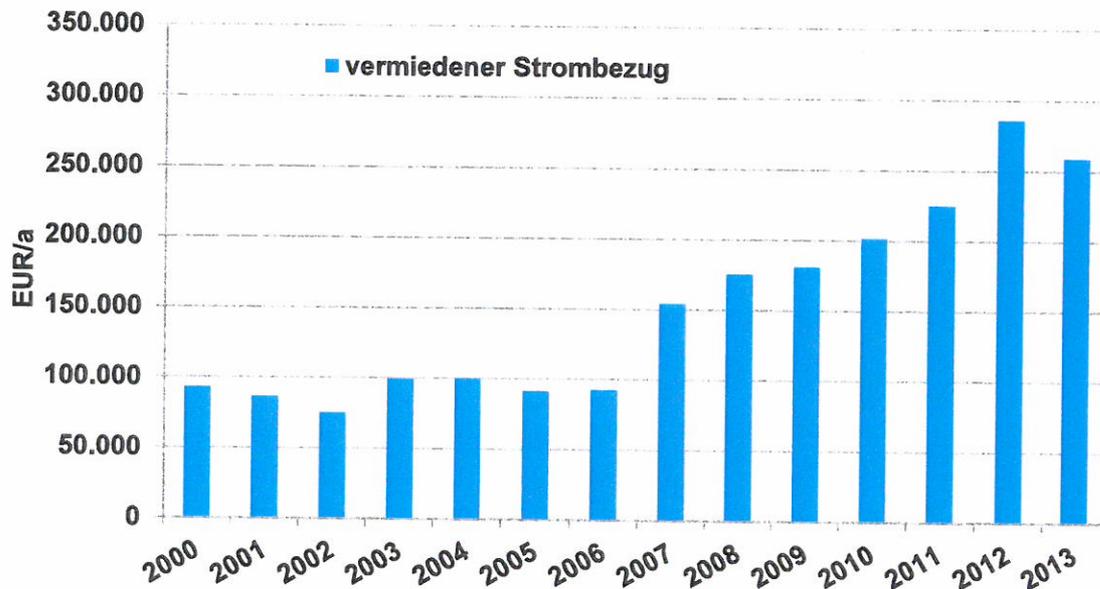


Bild 5: Kosten des vermiedenen Stromfremdbezugs

Mit der vorhandenen Anlage ist aufgrund ihres Alters bzw. des Inbetriebnahmejahres 2006 keine finanzielle Förderung nach dem KWKG mehr zu erhalten.

Eine Stromeinspeisung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ist wegen des niedrigen Vergütungssatzes für Klärgas ohnehin schon seit Jahren nicht mehr wirtschaftlich gegenüber der Eigennutzung bzw. Vermeidung des Fremdstrombezuges.

### 3 Modernisierung der bestehenden Anlage

Die wesentliche Veranlassung für eine Modernisierung ist die im Juli 2012 erfolgte Novellierung des KWKG, nach der eine deutlich erhöhte Zulage für die infrage kommende Leistungsklasse (50 - 250 kW) gewährt wird. Allerdings nur unter der Bedingung, dass ein fabrikneues Modul eingesetzt wird.

Weitere in diesem Zusammenhang zu betrachtende Aspekte sind der hohe Wärmeverlust des Faulbehälters im Winter, der durch den Bezug von Erdgas für die Heizung ausgeglichen wird. Auf der anderen Seite fällt im Sommer Überschusswärme an, die bisher nicht genutzt, sondern über den (Not-) Kühler an die Atmosphäre abgegeben wird. Als Wärmesenke für überschüssige Wärme bietet sich u. a. eine Schlamm-trocknung an mit dem Ziel, die in nicht unerheblicher Höhe anfallenden Kosten für die Schlamm-entsorgung zu reduzieren. Eine Nutzung der Überschusswärme ist vor allem auch eine Voraussetzung für den Erhalt der Zulage nach dem KWKG.

Nach den in der Langfassung dieser Studie dokumentierten Untersuchungsergebnissen können alle angeführten Maßnahmen und Effekte einzeln für sich betrachtet werden, weil sie sich lediglich additiv überlagern und sich nicht durch gegenseitige Rückwirkungen stören. Unter diesen Voraussetzungen beschränkt sich die Kurzfassung dieser Studie auf die Betrachtung einer Erweiterung der bestehenden Anlage um ein fabrikneues BHKW-Modul.

#### 3.1 Randbedingungen für die Auslegung

Die Größe der Anlage richtet sich nach den verfahrens- und anlagentechnischen Randbedingungen einerseits und nach der Betriebsweise andererseits.

Die verfahrens- und anlagentechnischen Randbedingungen sind im Wesentlichen durch die vorhandene BHKW-Anlage vorgegeben. Die Anlage ist in einem eigens dafür errichteten Gebäude mit sämtlichen für den Betrieb benötigten peripheren Anlagenteilen (Schaltanlage, Ölversorgung, Abgasanlage, Gasanschluss, Anschluss an Heizkreislauf) untergebracht. Von den drei vorgesehenen und weitgehend anschlussfertigen Plätzen sind derzeit zwei belegt. Die Nachrüstung eines weiteren Moduls oder ein Umbau im laufenden Betrieb kann somit weitgehend ohne Beeinträchtigung der laufenden Anlage durchgeführt werden.

Bei der Auswahl eines neuen Moduls ergeben sich dadurch allerdings Beschränkungen hinsichtlich der Baugröße. Die maximale Breite ist vornehmlich durch den vorhandenen Eingang bestimmt, die Baulänge durch den Aufstellplatz. Selbstverständlich sind auch die Schnittstel-

len für Gas, Strom und Heizungskreislauf in ihrer Leistungsfähigkeit auf bestimmte Bereiche beschränkt, die aber bei realistisch angenommenen Betriebsbedingungen nicht relevant sind. Einschränkungen sind allenfalls noch zu erwarten aus den neuen stromnetzseitigen Anforderungen an Erzeugungsanlagen. Hier gibt es generell noch Unsicherheiten bzgl. der Umsetzungen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dadurch die vorgesehene Erweiterung grundsätzlich infrage gestellt wird.

Aus funktioneller und technischer Sicht ist noch der Gasbehälter anzuführen, weil damit Schwankungen im Gasanfall einerseits ausgeglichen und ggf. Schwankungen in der Stromproduktion, sofern eine nach den neuen Anschlussbestimmungen vorgesehene Fernabschaltung durch den Netzbetreiber vorgenommen werden sollte. Bei einem Volumen von 500 m<sup>3</sup> und einem Gasanfall von ca. 60 - 100 Nm<sup>3</sup>/h reicht die Speicherkapazität gerade einmal für rd. 6 Stunden.

Bei der Auslegung einer BHKW-Anlage ist zu beachten, dass die Leistung nicht aufgrund von Berechnungen genau vorgegeben werden kann, sondern es können nur die am Markt von den Herstellern angebotenen Baugrößen eingesetzt werden. Für die folgenden Untersuchungen wurden zunächst die Baureihen des Lieferanten der bestehenden Module Fa. Kuntschar + Schlüter zugrunde gelegt. Das ist naheliegend, weil die technischen Spezifikationen eine unkomplizierte Erweiterung der bestehenden BHKW-Anlage erwarten lassen. Gleichwohl ist es durchaus möglich, Module anderer Hersteller mit den vorhandenen Modulen zu kombinieren. Allenfalls fällt dann ein zusätzlicher Aufwand für die Anpassung der Schnittstellen an.

### **3.2 *Überschlägige Bestimmung der Baugröße***

Für den BHKW-Betrieb ist generell vorzuschicken, dass die Stromproduktion in einem festen Verhältnis zur Wärmeproduktion steht. Die relevanten Größen sind der elektrische und der thermische Wirkungsgrad. Für den infrage kommenden Leistungsbereich liegen die Werte etwa bei 35 - 38 % (elektrisch) und 55 - 65 % (thermisch).

Die Bestimmung der Baugröße von BHKW-Anlagen für den Einsatz auf Kläranlagen erfolgt für gewöhnlich nach der Klärgasmenge. Es ist aber auch eine Auslegung für eine wärme- oder stromorientierte Fahrweise möglich. Bisher waren diese Fahrweisen uninteressant; mit der Förderung nach dem KWKG wird vor allem die wärmeorientierte Fahrweise attraktiv. Eine stromorientierte Fahrweise und dementsprechende Auslegung wird interessant, wenn die Preisschere zwischen (Erd- oder Propan-) Gaspreis und Strompreis weiter auseinandergeht. Ein wirtschaftlicher Betrieb wird überschlägig dann interessant, wenn der Strompreis doppelt so hoch ist wie der Gaspreis. Für den Stadtbetrieb Ahrensburg liegt das Verhältnis derzeit

etwa bei dem Faktor 4(!). Dem Strompreis (2012) von 19,2 ct/kWh (davon über die Hälfte Umlagen und Steuern) steht ein Gaspreis von 4,8 ct/kWh gegenüber.

Die angeführten Fahrweisen sind nachfolgend kurz beschrieben.

- Klärgas

Bei der Auslegung auf den Klärgasanfall erfolgt die Auslegung so, dass möglichst die gesamte Menge bis auf wenige auftretende Spitzenwerte mit dem BHKW genutzt wird. Zugleich muss aber darauf geachtet werden, dass bei geringem Anfall das BHKW nicht mit wesentlich weniger als 70 % der Nennleistung betrieben wird, weil sonst der elektrische Wirkungsgrad stark abfällt.

- Wärmeorientierte Betriebsweise

Mit einer wärmeorientierten Betriebsweise wird angestrebt, den gesamten Wärmebedarf, vor allem auch im Winter, mit dem BHKW zu decken. Soweit das Klärgas dazu nicht ausreicht, wird Fremdgas ergänzt. Die gesamte Wärme wird dann (klimafreundlich!) mittels KWK erzeugt; es wird bis auf geringe Spitzenlastzeiten kein Gas direkt verheizt. In Zeiten mit hohem Wärmebedarf und niedrigem Strombezug kann es dann zur Stromspeisung in das Netz kommen.

- Stromorientierte Betriebsweise

Die stromorientierte Betriebsweise orientiert sich am Stromverbrauch der Kläranlage. Es wird angestrebt, den gesamten, jedoch belastungsabhängig schwankenden Verbrauch mit dem BHKW zu decken. Auch hier wird Fremdgas eingesetzt, sofern das Klärgas nicht ausreicht.

Die Wahl der Fahrweise und der Baugröße können nach unterschiedlichen Kriterien vorgenommen werden. In der Regel wird die Wirtschaftlichkeit den Ausschlag geben. Es können aber auch andere Faktoren wie Klimaschutz, Sicherheit der Stromversorgung oder die Unabhängigkeit von einer bestimmten Energieart mit unterschiedlicher Gewichtung in die Bewertung einfließen.

Für die nach wie vor bestimmende Größe, den Klärgasanfall, ergibt eine Betrachtung der Entwicklung über die voraussichtliche Betriebsdauer der BHKW-Anlage, dass die Annahme von Fetten einen wesentlichen Einfluss hat. Genau genommen handelt es sich dabei nicht ausschließlich um Fette, sondern um vergärbare Stoffe, die derzeit von neun unterschiedlichen Lieferanten (Entsorgungsfachbetrieben) angenommen werden. Im gerade abgelaufenen Jahr 2012 konnte die Menge nach längerer rückläufiger Tendenz erstmals wieder deutlich gesteigert werden (Bild 6). Für die weiteren Betrachtungen, insbesondere für die Auslegung und die

Wirtschaftlichkeit, wird zunächst konservativ das niedrige Niveau aus dem Jahr 2011 angenommen. Sollte sich die Klärgasmenge auf dem neuen höheren Niveau einpendeln, kann die Menge dennoch genutzt werden, weil die vorhandene BHKW-Anlage vorerst bestehen bleibt und weiterhin genutzt werden kann.

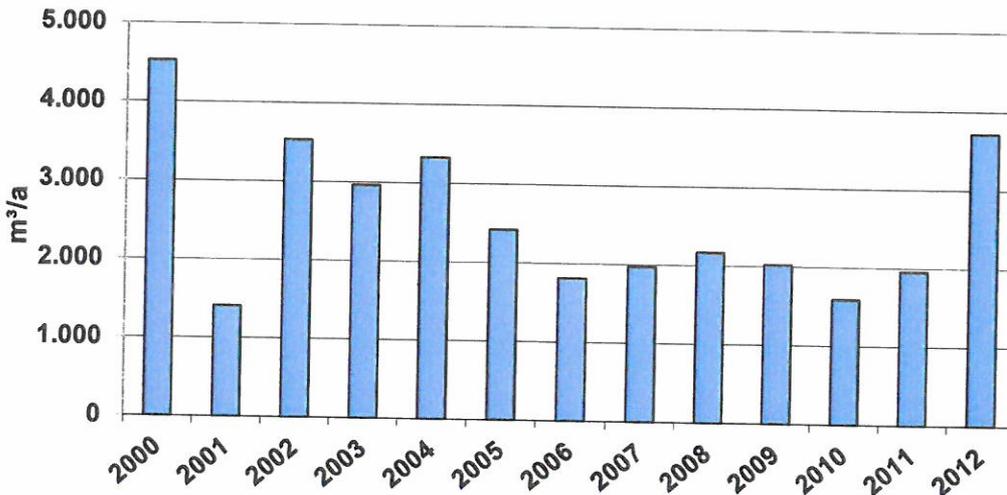


Bild 6: Fettanlieferungen

Mit einer jährlichen Klärgasmenge von 650.000 Nm³/a ergibt sich eine Primärenergiemenge von rd. 4,0 Mio. kWh/a. Das entspricht einer Feuerungswärmeleistung von 465 kW als Richtgröße für die Auslegung eines neuen BHKW-Moduls.

Die bereits weiter oben einmal dargestellte Grafik für den täglichen Klärgasanfall wird hier erneut mit den für die Auslegung umgerechneten elektrischen Leistungswerten für einen angenommenen (elektrischen) Wirkungsgrad von 38 % dargestellt. Die Tageswerte schwanken demnach, von Ausreißern einmal abgesehen, zwischen 150 und fast 300 kW, wobei der Bereich um 300 kW nur etwa einen Monat lang auftritt. Das erklärt sich durch die Schwankungen bei den Fettanlieferungen.

In das Diagramm mit der Häufigkeitsverteilung sind die Leistungswerte der Typenreihe der BHKW-Module der Fa. Kuntschar + Schlüter eingetragen. Dabei fällt auf, dass eigentlich genau in dem infrage kommenden Leistungsbereich eine Lücke vorhanden ist. Es bestätigt sich an dieser Stelle auch, dass die bestehende Auslegung mit zwei Modulen á 150 kW ebenso ungünstig ist, weil mit einem Modul nur ein sehr kleiner Teil des Leistungsbereiches abgedeckt wird und beide Module in Vollast schon hinter dem Bereich mit der größten Häufigkeit liegen.

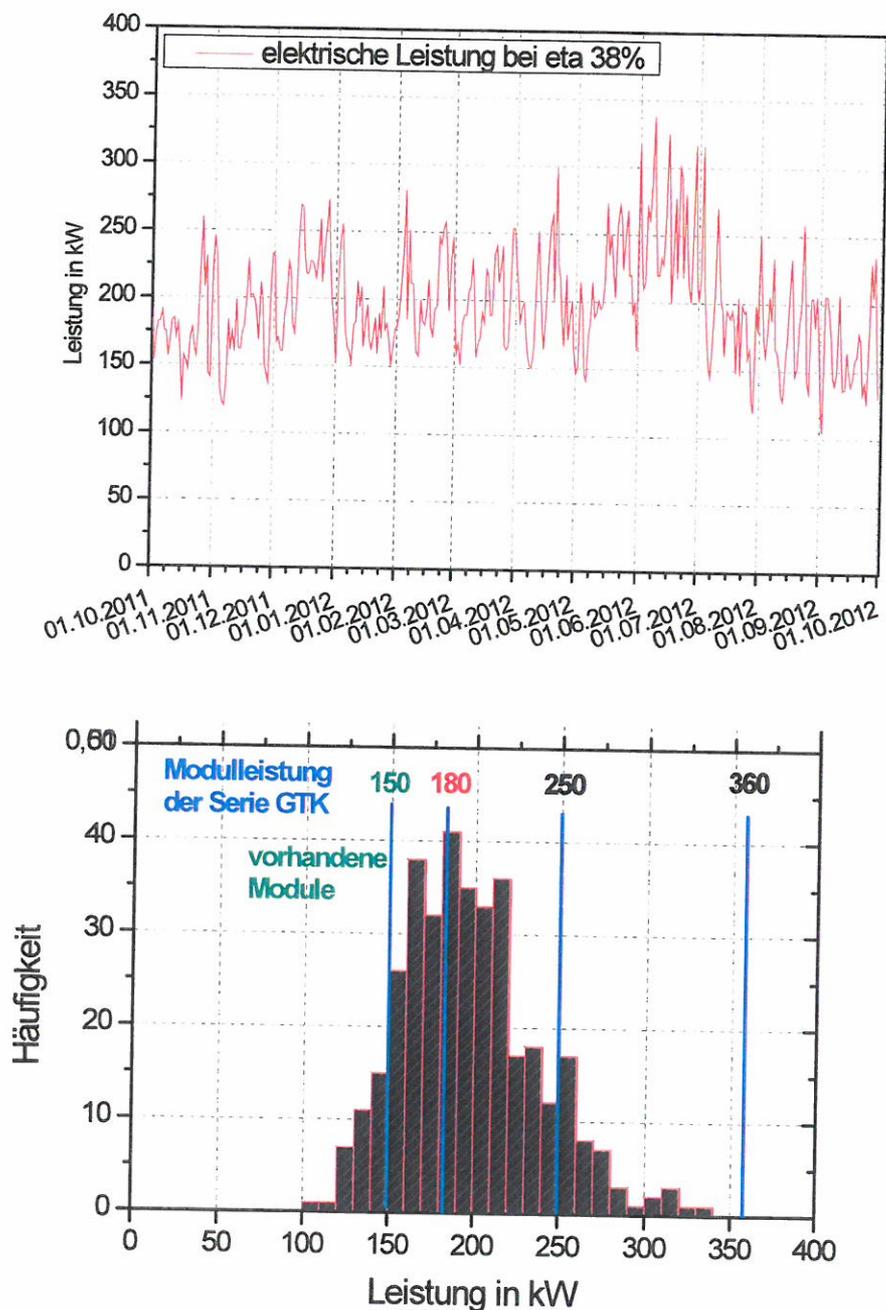


Bild 7: Klärgasanfall, zeitlicher Verlauf (oben) und Häufigkeitsverteilung (unten)

Unter Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse wird dennoch der überwiegende Teil des Klärgases mit dem neuen Modul genutzt (Bild 8). Für die Abdeckung der auftretenden Spitzen stehen dann die beiden vorhandenen Module zur Verfügung.

Für die jetzt zu treffenden Entscheidungen sind diese Betrachtungen ausreichend genau. Gleichwohl lässt sich das Betriebsverhalten des neuen Moduls und das Zusammenspiel mit der bestehenden Anlage erst beurteilen, wenn die Leistung des neuen Moduls feststeht.

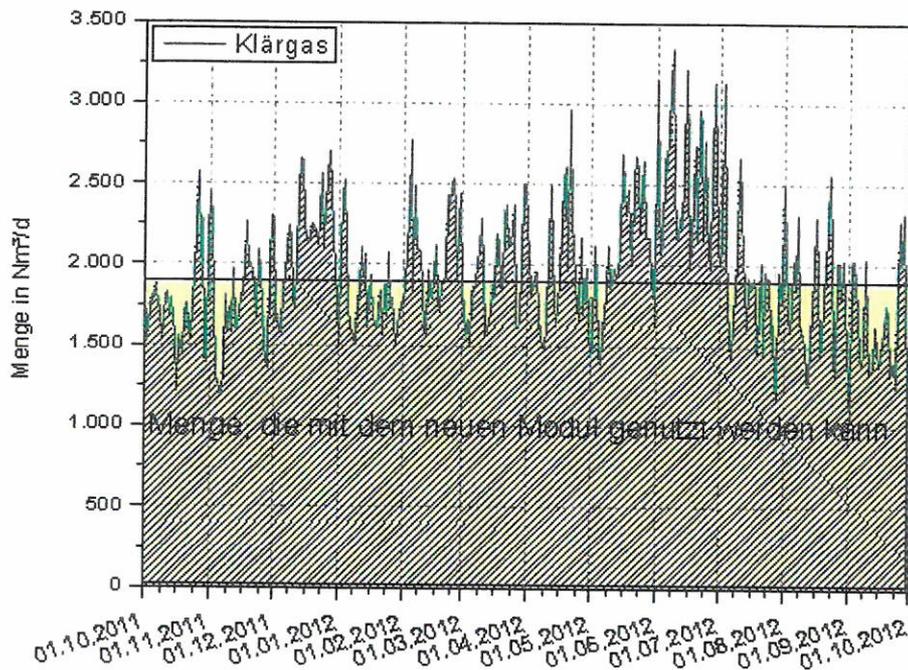


Bild 8: Mit dem neuen Modul genutzte Klärgasmenge

## 4 Vergütung nach dem KWKG

Nach den Bestimmungen des KWKG steht dem Betreiber von BHKW-Anlagen eine Vergütung für den erzeugten Strom zu. Die Komplexität des Energierechts lässt leider keine einfache Darstellung anhand des Gesetzestextes zu. Deshalb hat sich der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) um eine Klarstellung bemüht und eine Umsetzungshilfe herausgegeben [3].

Im Wesentlichen ergibt sich daraus, dass die Netzbetreiber verpflichtet sind, KWK-Anlagen an ihr Netz anzuschließen und KWK-Strom vorrangig abzunehmen. Die Betreiber erhalten eine Vergütung in Form der sog. KWK-Zulage. Diese wird für den kompletten erzeugten KWK-Strom gewährt, auch wenn dieser unmittelbar selbst verbraucht wird.

### 4.1 Grundlagen der Vergütung

Bei der Novellierung in 2012 wurden die Vergütungssätze angepasst. Weil der KWK-Ausbau in Deutschland noch weit hinter den politischen Vorgaben herhinkt, wurden die nach Leistungsbereichen gestaffelten Vergütungssätze sämtlich angehoben. Interessant ist vor allem die Einführung einer neuen Leistungsklasse im Bereich von 50 - 250 kW mit einem im Vergleich hohen Zuschlag von derzeit 4,0 ct/kWh [4].

#### Höhe des Zuschlags und Dauer der Zahlung für KWK-Strom (§7)

Nachfolgend sind die Regelungen des KWKG-Gesetzes zur Höhe und Dauer der Zuschlagzahlungen für KWK-Strom für die einzelnen Anlagen-Kategorien entsprechend Kapitel 4. zusammenfassend dargestellt. Die Regelungen gelten für Anlagen, die ab dem Inkrafttreten dieses Gesetzes und bis zum 31.12.2020 in Dauerbetrieb genommen worden sind.

Elektrische Leistungsklasse	Cent je kWh KWK-Strom	Dauer der Zahlung ab Aufnahme des Dauerbetriebs
<b>Kategorie A – kleine KWK-Anlagen bis 2 MW und Brennstoffzellen</b>		
<b>KWK-Anlagen bis 50 kW und Brennstoffzellen*</b>	5,41	10 Jahre oder wahlweise 30.000 Vollbenutzungsstunden
<b>KWK-Anlagen über 50 kW bis 2 MW</b>		30.000 Vollbenutzungsstunden
für den Leistungsanteil bis 50 kW	5,41	
für den Leistungsanteil über 50 kW bis 250 kW	4,0	
für den Leistungsanteil über 250 kW bis 2 MW	2,4	
* Sonderregelung sehr kleine Anlagen bis 2 kW und Brennstoffzellen optional pauschalierte Vorabzahlung des Zuschlags für KWK-Strom für 30.000 Vollbenutzungsstunden (innerhalb von 2 Monaten nach Antragstellung).		

Bild 9: KWK-Vergütung, Auszug aus einer ASUE-Broschüre [4]

#### **4.2 Berechnung der Vergütung für das neue Modul**

Nach den zuvor dargestellten Grundlagen und den sich daraus ergebenden Voraussetzungen gem. lässt sich mit der in der BDEW-Umsetzungshilfe angegebenen Berechnungsmethode (Tabelle 3) für das neue Modul die jährliche und die Gesamtvergütung (Tabelle 4) gemäß der für diese Leistungsklasse maximal möglichen Förderdauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden ermitteln.

Unter Vollbenutzungsstunden versteht man die auf die erzeugte elektrische Arbeit bezogene Zeitdauer, die erforderlich ist, um mit einem Stromerzeugungsaggregat die gleiche Arbeit bei Nennleistung bzw. Volllast zu erbringen. Weil BHKW-Anlagen im praktischen Einsatz auch im Teillastbetrieb laufen, ist die tatsächliche Laufzeit zur Produktion einer bestimmten Strommenge stets größer als die Anzahl der entsprechenden Vollbenutzungsstunden. Der (jährlich) an den Betreiber auszahlende Förderbetrag bemisst sich nach der tatsächlich erzeugten Strommenge. Folglich dauert es länger als die genannten 30.000 Vollbenutzungsstunden (ca. 4 Jahre), bis der Anspruch abgegolten ist. Beim BHKW-Betrieb auf Kläranlagen dauert es erfahrungsgemäß etwa 5,5 Jahre, um die relevante Strommenge zu produzieren; dann läuft die Förderung aus.

Tabelle 2: Voraussetzungen

	Werte	Einheit
Klärgasanfall	640.239	Nm <sup>3</sup> /a
Heizwert	6,2	kWh/Nm <sup>3</sup>
Pel	180	kW
eta	0,35	%
geförderte Vollaststunden	30.000	Bh
eingesetzte Primärenergie	<b>3.969.482</b>	kWh
jährliche Strommenge	<b>1.389.319</b>	kWh
gesamte geförderte Strommenge	<b>5.400.000</b>	kWh

Tabelle 3: KWK-Berechnung nach BDEW

Leistungsanteil	Berechnung	zugeordnete Strommenge	Förderung
bis 50 kW	(50/Pel Modul) * Strommenge	kWh	EUR
≥ 50 - 250 kW	(250/Pel Modul kWh) * Strommenge	kWh	EUR

Tabelle 4: KWK-Zuschlag pro Jahr (oben) Gesamt (unten)

Kategorie	Leistungsanteil	Stromproduktion	relativer Anteil	Vergütung
kW	kW	kWh	%	EUR
<50	50	385.922	27,8	20.878
50 - 250	130	1.003.397	72,2	40.136
<b>Summe</b>	<b>180</b>	<b>1.389.319</b>		<b>61.014</b>

Kategorie	Leistungsanteil	Stromproduktion	relativer Anteil	Vergütung
kW	kW	kWh	%	EUR
<50	50	1.500.000	27,8	81.150
50 - 250	130	3.900.000	72,2	156.000
<b>Summe</b>	<b>180</b>	<b>5.400.000</b>		<b>237.150</b>

## 5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die dieser Studie zugrunde liegenden Kosten sind zunächst die Betriebs- und Abrechnungsdaten der Kläranlage, insbesondere für die Energiekosten. Für die vorgesehenen Investitionskosten wurden Richtpreisangebote eingeholt. Die dieser Studie zugrunde liegenden Kosten sind zunächst die Betriebs- und Abrechnungsdaten der Kläranlage, insbesondere für die Energiekosten. Für die zu erwartenden Investitionskosten wurden Richtpreisangebote eingeholt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt in Form einer Lebenszykluskostenbetrachtung. Diese bildet die Verhältnisse besser ab als die in der Wasserwirtschaft übliche dynamische Kostenvergleichsrechnung.

### 5.1 Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit von BHKW-Anlagen wird in mehreren unterschiedlichen Regelwerken behandelt, u. a. gibt es mehrere VDI-Richtlinien dazu [5], [6]. Dort wird jedoch darauf hingewiesen, dass es nicht um Auslegungsrichtlinien handelt, sondern um Arbeitshilfen, um in einer sehr frühen Projektphase (Konzeptionsphase) eine Entscheidung zwischen verschiedenen Varianten für eine definierte Nutzung fällen zu können. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden in der Wasser- und Abwasserwirtschaft üblicherweise nach den Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien) der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [7] durchgeführt. In der Ausgabe 2005 wird auch explizit eine BHKW-Anlage als Beispiel behandelt. Allerdings basiert diese Betrachtung auf Verhältnissen aus dem Jahr 2003 und ist nicht mehr zeitgemäß. Die in Anlage 1-1 angeführte Nutzungsdauer von 20 - 25 Jahren für Gasmaschinenanlagen basiert auf der früher üblichen großzügigen und kostenintensiven Reservehaltung, die jedoch ähnlich wie im Kraftfahrzeugbereich bei dem heute üblichen Service mit kurzen Lieferzeiten für Ersatzteile und optimierten Reparaturprozeduren nicht mehr erforderlich ist. Für die heutigen durchaus komplexen Verhältnisse beim Betrieb von BHKW-Anlagen mit überwiegend variablen und teilweise voneinander abhängigen Kostenanteilen ist die Kostenvergleichsrechnung daher nur bedingt geeignet. Wesentlich besser bewährt hat sich die für Energieanlagen zwischenzeitlich etablierte Betrachtung der Lebenszykluskosten, bei der u. a. finanzielle Fördermöglichkeiten und nicht zyklische Wartungskosten (Überholungen) transparent eingebracht werden können.

Nach unseren Erfahrungen führt in der Konzeptphase eine Lebenszyklusbetrachtung in tabellarischer Form zu der für eine Entscheidung notwendigen Transparenz bei zugleich hinreichender Genauigkeit.

Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Berücksichtigung aller relevanten Kosten (Investition bzw. Abschreibung, Wartung, Energiekosten, Erlöse aus Förderung, etc.) die unterschiedlichen Methoden im Ergebnis nicht weit auseinander liegen. Die Unterschiede liegen vielmehr in der Nachvollziehbarkeit der einzelnen Rechenschritte, insbesondere wenn sprunghafte Änderungen über die Betrachtungsdauer auftreten.

Bei energieintensiven Aggregaten stellt sich darüber hinaus die Frage, ob die Abschreibung linear über die Nutzungsdauer sinnvoll ist oder ob eine Abschreibung über die für die Abnutzung relevanten Betriebsstunden zutreffender ist, was der Realität näher kommt.

Der Betrachtungszeitraum der nachfolgendem Berechnung erstreckt sich von 2006, also dem Jahr der Errichtung der vorhandenen BHKW-Anlage, bis über das Jahr 2020 hinaus. Das dürfte der zu erwartenden Lebensdauer des neuen BHKW-Moduls entsprechen. Durch die langfristige Betrachtung wird gewährleistet, dass sporadisch auftretende Kosten, die aber in der Höhe relevant sind (Generalüberholungen für BHKW-Module, etc.), vollständig erfasst werden.

## 5.2 Variantenuntersuchung

Für die Variantenuntersuchung wird von dem in der Tabelle 5 dargestellten Szenario ausgegangen. Die vorhandene Anlage aus dem Jahr 2006 bleibt bestehen; ihre vorgesehene Nutzungsdauer Nutzungsdauer von 10 Jahren endet 2016. Das neue BHKW-Modul wird möglichst noch in 2013 errichtet und liefert ab dem Jahr 2014 Strom. Somit besteht dann auch Anspruch auf die KWK-Zulage. Für das neue Modul ist von einer maximalen Nutzungsdauer von 10 Jahren auszugehen. Für die Wartungskosten wurde für ein Modul dieser Größe der übliche Preis eines Vollwartungsvertrages angesetzt. Die KWK-Zulage läuft nach etwa 4 Jahren aus. Deshalb bleibt zu überlegen, ob nicht die Abschreibung auf einen Zeitraum von 6 - 8 Jahren verkürzt wird, um sich möglichst früh neue Handlungsoptionen offen zu halten.

Tabelle 5: Variantenuntersuchung

Jahr	2006	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2020	21	22	23
vorhandene BHKW-Anlage																		
Nutzungsdauer		10 Jahre																
Restbuchwert/Abschreibung		Stand 31.12.2012: 95.947 EUR																
Wartung Bestand		2 EUR/Bh																
Generalüberholung						M1	M2											
Neues Modul (Investition)																		
Nutzungsdauer																		
KWK-Zulage																		
Wartung Neues Modul																		
Abschreibung Neues Modul																		

Dementsprechend werden zwei Varianten verglichen:

- Nullvariante  
Weiterbetrieb der alten Anlage
- Modernisierung bzw. neues BHKW  
Beschaffung eines neuen BHKW-Moduls, welches ergänzend zu der bestehenden Anlage betrieben wird. Wichtig ist dabei, dass die KWK-Zulage nur für den mit dem neuen Modul produzierten Strom gewährt wird.

Für den Vergleich wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Für die Untersuchung werden die Betriebsdaten zugrunde gelegt. Diese stehen für den Zeitraum von 2000 - 2012 zur Verfügung.
- Für die folgenden Jahre werden die Daten aus 2011 zugrunde gelegt, weil in 2012 die Fettmenge stark angestiegen ist. Es lässt sich allerdings nicht sicher vorhersagen, dass dieses hohe Niveau weiterhin gehalten werden kann. Eine niedrige Fettmenge entspricht im Sinne der Wirtschaftlichkeit einer konservativen Annahme.
- Der Wirkungsgrad der Module sinkt mit der Betriebsdauer leicht ab. 2 % Minderung am Bestandsmodul, 4 % am neuen Modul innerhalb von 7 Jahren. Diese Minderung basiert auf Erfahrungswerten, die im übrigen durch die Analyse der Betriebsdaten der Kläranlage Ahrensburg bei der Erneuerung der BHKW-Anlage 2006 weitgehend bestätigt wurden.
- Die Investitionskosten für ein neues Modul liegen bei ca. 203.000 EUR (brutto). Darin sind die nach heutigem Stand absehbaren zusätzlichen Kosten für die Umsetzung der neuen technischen Anforderungen (Einspeisemanagement) enthalten. Das betrifft im Wesentlichen einen leistungsstärkeren Generator und eine Fernsteuereinheit für die vom Netzbetreiber vorzunehmende Leistungsregelung.

In den Kosten sind außerdem die zum Nachweis der erzeugten Strommenge und der genutzten Wärme erforderlichen geeichten Zähler (KWKG-Forderung) berücksichtigt.

- Weiterhin fallen Kosten für die Planung und Projektbegleitung an. Für die Inbetriebnahme ist von einem erhöhten Aufwand auszugehen, weil die Einhaltung der neuen Richtlinien für das Einspeisemanagement durch eine umfangreiche Prüfungs- und Abnahmeprozedur und ggf. sogar eine Zertifizierung nachgewiesen werden muss.

Berücksichtigt man den Aufwand für die aufgeführten Nebenarbeiten mit einem angemessenen pauschalen Aufschlag von 15 % auf die Investitionskosten, dann liegen die Gesamtkosten bei ca. 230.000 EUR (brutto).

- Für die Wartung des BHKW-Moduls werden 1,50 EUR/Bh angesetzt. Dies ist ein Erfahrungswert und beinhaltet die erforderliche Generalüberholung.
- Beim Strompreis wird von einer jährlichen Steigerung von 7 % ausgegangen. Für den zurückliegenden Zeitraum von 2000 - 2011 lag die jährliche Steigerung sogar bei 8,3 %.

### **5.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung**

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Kosten dem Nutzen gegenübergestellt. Die Kosten ergeben sich aus Investitionskosten bzw. den daraus resultierenden Abschreibungen, den Kosten für die Wartung und den (vergleichsweise geringen) Kosten für den Erdgasbezug. Demgegenüber steht der Nutzen aus dem vermiedenen Strombezug und der KWK-Zulage, die nur für das neue Modul gewährt wird.

Für die Nullvariante sind die Kosten und der Nutzen im Bild 10 dargestellt, für die Modernisierung bzw. das neue BHKW-Modul im Bild 11. Die Nullvariante ist charakterisiert durch einen relativ gleichmäßigen Verlauf der Kosten über die Nutzungsdauer (2007 - 2016). Die Wartungskosten basieren auf den bisher angefallenen tatsächlichen Kosten, die allerdings gleichmäßig auf die einzelnen Jahre verteilt sind. Dem gegenüber stehen die vom Klärgasanfall abhängigen vermiedenen Stromkosten, die zudem aufgrund der Preissteigerung jährlich größer werden.

Bei der Variante Modernisierung kommt auf der Kostenseite ab 2014 für eine (rechnerische) Nutzungsdauer von 6 Jahren die Abschreibung für das neue Modul hinzu. Zugleich reduzieren sich aber die Wartungskosten, weil in der überwiegenden Zeit nur noch ein einziges Modul läuft statt wie bisher zwei. Der zusätzliche Nutzen ergibt sich aus einem verbesserten Wirkungsgrad des neuen Moduls und der KWK-Zulage. Alle anderen Kostenanteile verhalten sich näherungsweise gleich.

Im Vergleich ergibt sich ein Vorteil für die Variante Modernisierung (Bild 12). Das ist einleuchtend, weil die gesamte KWK-Zulage in Höhe von ca. 237.000 EUR die Investitionskosten von 230.000 EUR bereits kompensiert. Die höhere Stromproduktion wirkt sich aufgrund der hohen Strompreise noch umso deutlicher aus, die reduzierten Wartungskosten runden das Ergebnis ab. Insgesamt ergibt sich dann ein deutlicher Vorteil in Höhe von 170.000 EUR zugunsten der Variante Modernisierung.

Zur Klarstellung soll noch angemerkt werden, dass dieses Ergebnis grundsätzlich unabhängig vom Zeitpunkt der Modernisierung ist. Spätestens im Jahr 2017 wäre ohnehin eine komplette Erneuerung der vorhandenen Module fällig. Dann würde sich zeitversetzt das gleiche Bild ergeben, sofern sich die Randbedingungen für die Förderung nicht ändern.

Wie sich die energetischen Rahmenbedingungen bis dahin entwickeln, lässt sich allerdings nur schwierig vorhersagen. Derzeit werden die für KWK-Anlagen bereitgestellten Fördermittel nicht einmal zur Hälfte abgerufen; dementsprechend schlecht kommt der angestrebte KWK-Ausbau voran. Somit könnte man einerseits erwarten, dass die finanziellen Anreize in den nächsten Jahren noch erhöht werden. Auf der anderen Seite sind die Stromkosten in den vergangenen beiden Jahren, nicht zuletzt aufgrund der gestiegenen EEG-Umlage und der Netzkosten, förmlich explodiert. Ob unter diesen Voraussetzungen die finanzielle Förderung der Energieerzeugung dauerhaft erhalten bleibt, darf daher bezweifelt werden.

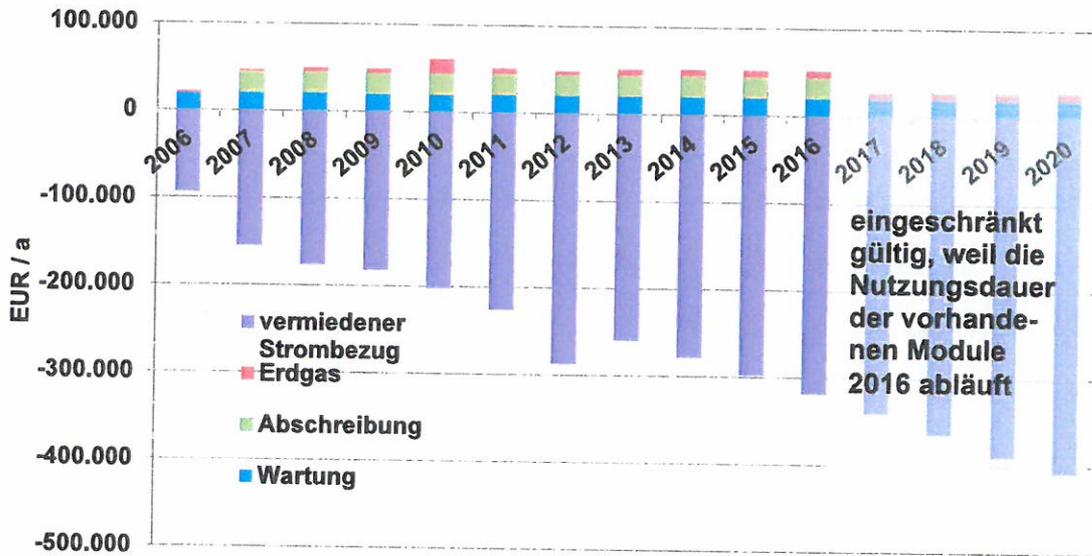


Bild 10: Nullvariante - Kosten/Nutzen

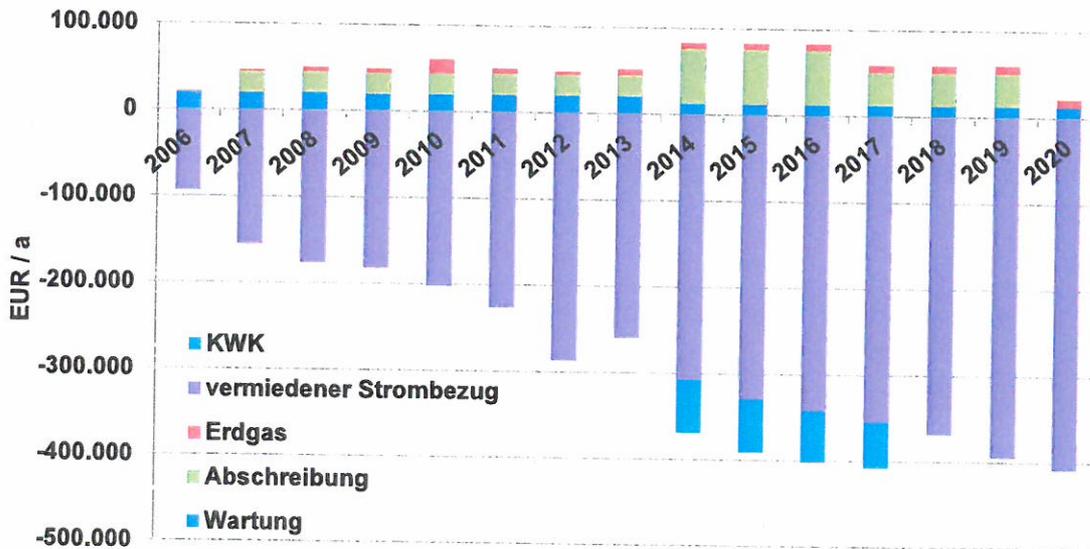


Bild 11: Modernisierung bzw. neues BHKW - Kosten/Nutzen

### Erläuterung zu den Diagrammen

Aufgetragen sind die Kosten und Erlöse über den Zeitraum von 2006 (Errichtung der bestehenden BHKW-Module) bis 2020 (Ablauf der KWK-Förderung). Der Zeitraum von 2013 - 2020 ist für die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend. Der Zeitraum davor ist nur dargestellt, um die Gesamtkosten und Abschreibungen der bestehenden Anlage korrekt und vollständig zu erfassen.

Im Sinne einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bzw. einem Vergleich von Kosten und Nutzen sind Kosten mit positiven Zahlen dargestellt und Erlöse bzw. der Nutzen mit negativen Zahlen.

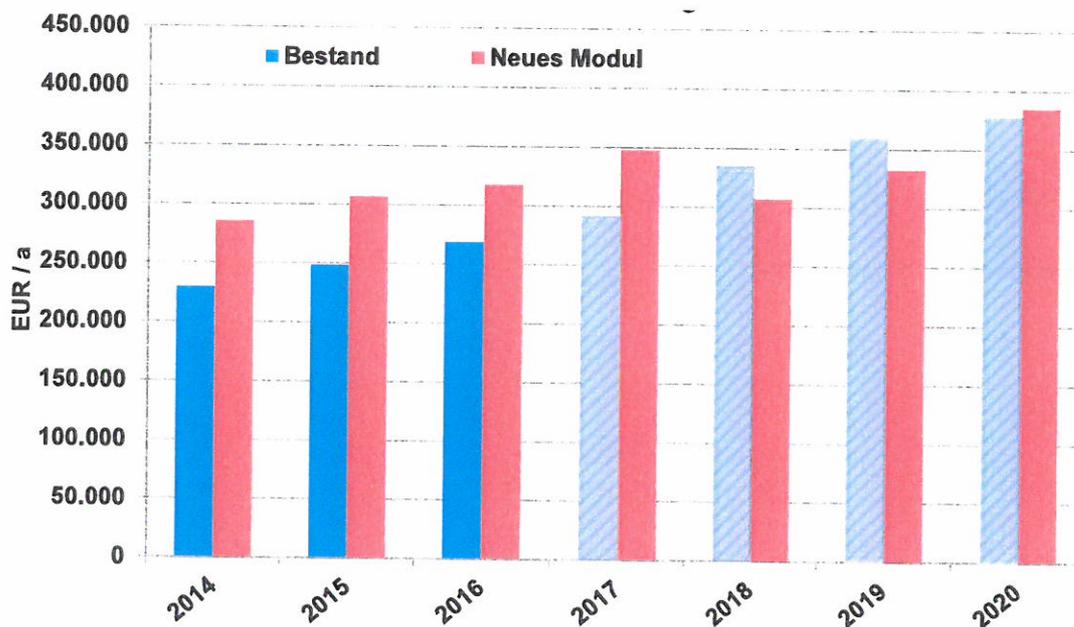


Bild 12: Vergleich Nullvariante - Modernisierung bzw. neues BHKW

## **5.4 Anforderungen des Netzbetreibers**

Der zuständige Netzbetreiber ist die E.ON Hanse AG und speziell für das Stromnetz im Raum Ahrensburg die Schleswig-Holstein Netz AG. Die Klärung der neuen Anforderungen an das Einspeisemanagement erfolgte am 29.01.2013 im Rahmen von mehreren Telefongesprächen mit folgendem Ergebnis:

- Dem Netzbetreiber wurde die vorgesehene Umbausituation dargestellt. Es sind zwei BHKW-Module vorhanden. Zur Modernisierung soll ein neues Modul beschafft werden, welches vorrangig betrieben wird. Die beiden älteren Module werden dann nur noch ergänzend betrieben.

- Der Netzbetreiber betrachtet die auf der Kläranlage vorhandene Mittelspannungsstation als Netzverknüpfungspunkt. Folglich ist die Mittelspannungsrichtlinie anzuwenden.
- Die nachfolgend aufgeführten Anforderungen sind nur von dem neuen Modul einzuhalten. Die beiden älteren Module genießen Bestandsschutz und müssen nicht nachgerüstet werden. Allerdings müssen die Schutzeinstellungen angepasst werden, sodass diese Module bei Netzstörungen abschalten und nur noch das neue Modul in Betrieb bleibt. Die Einstellwerte werden vom Netzbetreiber mitgeteilt.
- Der Netzbetreiber fordert ansonsten für neue Anlagen eine umfängliche und uneingeschränkte Umsetzung der BDEW-Mittelspannungsrichtlinie.
- Zur Umsetzung der Forderungen nach der statischen Spannungshaltung wird vom Netzbetreiber ein Fernsteuermodul bereitgestellt, welches direkt auf die Steuerung der BHKW-Anlage zugreift und eine Reduzierung der Leistung in vier Stufen vornimmt.
- Für die Schutzeinrichtungen wird ein vollständiger Q-U-Schutz gefordert. Dazu müssen vom BHKW-Lieferanten Regelgeräte mit den geforderten Einstellmöglichkeiten eingebaut werden.
- Bei Bedarf muss vom BHKW Blindleistung bereitgestellt werden. Das lässt sich durch steuerungstechnische Maßnahmen am BHKW umsetzen.
- Zur Umsetzung der Forderungen nach einer dynamischen Netzstabilisierung müssen vom BHKW kurzzeitige Netzstörungen im Bereich von mehreren 100 ms ohne Abschaltung überbrückt werden. Das erfordert nach heutigem Informationsstand den Einbau eines leistungsstärkeren Generators.
- Eine einfehlersichere Abschaltung entfällt; diese wäre nur erforderlich, wenn der Netzverknüpfungspunkt auf der Niederspannungsebene läge.

## 6 Empfehlung

Die durchgeführten Untersuchungen ergeben, dass eine Modernisierung der bestehenden Anlage wirtschaftlich ist, weil die finanziellen Vorteile durch die KWK-Zulage, die höhere Stromproduktion in der Summe höher sind als die dazu erforderlichen Investitionskosten.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahme wurde beim Netzbetreiber angefragt. Von diesem wird gefordert, dass die Forderungen aus der BDEW-Mittelspannungsrichtlinie eingehalten werden. Hierzu liegen zwar derzeit noch keine konkreten Erfahrungen mit der erforderlichen Technik vor, weil die Richtlinie erst seit 01.01.2013 einzuhalten ist. Nach heutigem Kenntnisstand lassen sich die Forderungen einhalten, obwohl sicherlich noch technische Detailfragen zu klären sind.

Mit Blick auf die Schnellebigkeit energierechtlicher Entscheidungen kann man zunächst nicht davon ausgehen, dass die jetzigen für Kläranlagen vergleichsweise günstigen Bedingungen längerfristig Bestand haben. Die Empfehlung geht deshalb dahin, die Planung und Beschaffung des neuen BHKW-Moduls rechtzeitig einzuleiten, um sich den Anspruch auf die KWK-Zulage zu sichern.

Mit dem neuen Modul wird der eigentlich erst in 3 - 4 Jahren anstehende Generationswechsel der BHKW-Anlage gewissermaßen vorgezogen. Weil die bestehende Anlage jedoch noch zur Deckung von Leistungsspitzen weiterbetrieben wird, verschiebt sich dieser Zeitpunkt nach hinten. Die anstehende Erneuerung kann dann fließend und nach dem tatsächlichen Bedarf bzw. Verschleiß vorgenommen werden.

## 7 Literatur und Quellen

- [1] Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002 (BGBl. I S 1092) zuletzt geändert durch Art. 1 ÄndG v. 12.7.2012 (BGBl. I S. 1494)
- [2] Energetische Grob- und Feinanalyse Kläranlage Ahrensburg, erstellt vom Ingenieurbüro becker + gedusch, Bearbeiter: G. Seibert-Erling, Januar 2003
- [3] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. : Umsetzungshilfe zum Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWK-G 1 Version 1.0, Dezember 2009, BDEW, Berlin
- [4] ASUE Arbeitsgemeinschaft, Das KWK-Gesetz 2012: Grundlagen, Förderung, praktische Hinweise, Juni 2012, Berlin
- [5] VDI 2067: Bewertung gebäudetechnischer Anlagen in energetischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht
- [6] VDI 4680: Blockheizkraftwerke (BHKW), Grundsätze für die Gestaltung von Serviceverträgen
- [7] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Ausgabe 2005