

Schlussbericht November 2003

Co - Vergärungsanlage E. Flachsmann AG

Betriebsoptimierung

Projekt 38 715 Vertrag 79 425

Ausgearbeitet durch
Thomas Weisskopf / Beat Menzi / Nicola Ciccone
Weisskopf Partner GmbH
Albisriederstrasse 184b, 8047 Zürich

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Die Emil Flachsmann AG produziert Aromen, Getränkegrundstoffe und Pflanzenextrakte für die Pharma-, Ernährungs- und Genussmittelindustrie. Bei der Suche nach einer umweltgerechten und ökonomischen Entsorgung der Abwasserfracht und der festen Extraktionsrückstände, entschied sich die Emil Flachsmann AG für den Bau einer Biogasanlage nach dem Prinzip der Co - Vergärung. Neben der Produktionsanlage für Biogas beinhaltet die Anlage auch zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) zur Wärme- und Stromproduktion aus Biogas sowie eine Absorptionskältemaschine zur Produktion von Prozess- und Klimakälte. Die Anlage wurde 1998 in Betrieb genommen.

Aufgrund der Erfahrungen in den ersten Betriebsjahren, in denen sich einige betriebs-technische Mängel zeigten, stellte sich die Frage nach einer Optimierung der Biogasanlage. Aus diesem Grund wurde im Auftrag des Bundesamtes für Energie beschlossen, die Betriebsprozesse und Energieflüsse der Co - Vergärungsanlage Emil Flachsmann AG detailliert zu untersuchen.

Die analysierten Bereiche der Anlage sind:

- Biogasproduktion und Schwankung der Methankonzentration im Feststofffermenter
- Strom- und Wärmeproduktion der BHKW
- Kälteproduktion der Absorptionskältemaschine

Die in der Anlage erkannten Probleme sowie die erarbeiteten Optimierungsmassnahmen sind im folgenden beschrieben:

- Die Produktion von Biogas im Feststofffermenter ist nicht kontinuierlich. Ausserdem schwankt die Methangaskonzentration im produzierten Biogas stark. Diese beiden Probleme führen zu Folgeproblemen wie z.B. einer geringen Strom- und Wärmeproduktion in den BHKW. Beim Überprüfen der Mikrobiologie im Feststofffermenter konnte das essentielle Spurenelement Selen in zu geringer Konzentration nachgewiesen werden. In einer Versuchsreihe konnte, durch die Zugabe von unterschiedlichen Mengen an Selen, eine erhöhte Biogasproduktion festgestellt werden. Diese Erkenntnis wurde in einem zweiten Schritt auf den Feststofffermenter übertragen. Nach rund eineinhalb jähriger Erfahrung konnte jedoch die gewünschte Erhöhung der Biogasmenge sowie eine Stabilisierung der Methankonzentration nicht erreicht werden. Ab Anfang 2003 wurde das Selen durch Schweinegülle ersetzt. Die ersten Erkenntnisse zeigten eine deutliche Verbesserung bezüglich Stabilisierung der Methankonzentration sowie eine geringe Zunahme der Biogasmenge.
- Bei der Betriebsanalyse der BHKW konnte festgestellt werden, dass diese sehr häufige Betriebsunterbrüche aufweisen, was auf die starke Schwankung der Methankonzentration im Biogas zurück zu führen ist. Diese Schwankung kann durch das Beimischen von Erdgas stark reduziert werden.
- Die Leistungszahl der Absorptionskältemaschine ist infolge nicht optimaler hydraulischer Einbindung sehr tief. Durch eine Regelungstechnische Änderung sowie den Einbau einer Drehzahlregelung an einer Kreislaufpumpe ist eine wesentliche Erhöhung der Leistungszahl abzusehen.

Durch die Optimierungsmassnahmen ist eine hohe Betriebssicherheit sowie eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu erwarten.

Abstract

The Emil Flachsmann AG produces flavours and plant extracts for the Pharma - and food - industrie. By searching an ecologically friendly waste disposal the Emil Flachsmann AG decided to built a biogas plant who was taken in operation in 1998.

In the first operational years some technical lacks showed up. For this reason the Swiss federal office of energy had given the order for an optimising operation of the biogas plant.

The following list is showing up the main problems of the biogas plant.

- The biogas production and strong fluctuation of the methane gas concentration in the solid fermenter
- Electrical current production and thermal energy production of the heat/power co-generation plant
- Cold production of the absorption chiller

The following briefly list describes the different variants to elimination the analysed problems:

- The biogas production in the solid fermenter is not continuous. Also the methane gas concentration in the produced biogas is strongly fluctuated. These two problems lead to subsequent problems, e.g. small electrical current production and thermal energy production of the heat/power cogeneration plant. When examining the microbiology in the solid fermenter the essential trace element selenium could be proven only in very small concentration. In a test series could be proven a increased biogas production, by admitting of different quantities of selenium. In a second step this realization was transferred to the solid fermenter. After one and a half year process experience could not reached the desired biogas production as soon as the stabilization of the methane concentration. At the beginning of 2003 the selenium was replaced by liquid manure. The first realizations show a clear improvement stabilization of the methane concentration as well as a small increase of the biogas quantity.
- By analysing the heat/power cogeneration plant could be determined, that they are showing often some process interrupts. This interruptions lead back from the fluctuations of the methane concentration. These fluctuations can be strongly reduced by adding natural gas.
- Due to insufficient hydraulic integration of the absorption chillers was the efficiency very deep. By a control change, as well as the installation of a speed regulation to a cycle pump, the efficiency can be strongly increased.

For each analyzed problem a variant was continued to recommend for the execution. Thus is a high operation reliability to expect, as well as an improved economy. Whereby the change-over from selenium to liquid manure the hope of improvement brought.

Résumé

Emil Flachsmann SA produit des arômes, des concentrés pour boissons, des extraits de plantes pour l'industrie pharmaceutique et alimentaire. Dans la recherche de solutions écologiques pour le traitement des eaux usées et des résidus, cette entreprise a décidé de construire une installation de biogaz, selon le principe de la co - fermentation. En plus de l'installation pour la production de biogaz, l'installation comprend aussi deux couplages chaleur-force (CCF) pour la production d'électricité et de chaleur, ainsi qu'une machine à absorption pour la production de froid. Cette installation est en service depuis 1998.

En raison de l'expérience des premières années de service, qui ont révélé quelques manques au niveau technique, la question de l'optimisation de l'installation de biogaz s'est posée. Pour cette raison, il a été décidé, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, d'examiner en détail les processus d'exploitation et des flux énergétiques de l'installation de fermentation.

Ont été analysées :

- Production de biogaz et l'oscillation de la concentration de méthane dans le digesteur
- Production d'électricité et de chaleur des couplages chaleur-force
- Production de froid de la machine à absorption.

Les problèmes identifiés ainsi que les mesures d'optimisation prévues sont décrits ci-après :

- La production de biogaz dans le digesteur n'est pas continue. En outre, la concentration de méthane oscille fortement dans le biogaz produit. Ces deux problèmes ont des conséquences par exemple sur la production d'électricité et de chaleur. On a pu établir, par des contrôles de microbiologie dans le digesteur, que l'oligo-élément sélenium était trop peu concentré. Une production accrue de biogaz a pu être constatée dans une série d'expériences en ajoutant différentes quantités de sélenium. Cette connaissance a été transposée dans un deuxième temps dans le digesteur. Après environ un an et demi d'expériences, l'augmentation de la quantité de biogaz ainsi qu'une stabilisation de la concentration de méthane n'ont pas pu être obtenues. A partir de 2003, le sélenium a été remplacé par des déjections de porcs. Les premiers résultats ont montré une nette amélioration en ce qui concerne la stabilité de la concentration du méthane ainsi qu'une petite augmentation de la quantité de biogaz.
- On a pu constater par une analyse d'exploitation des couplages chaleur-force qu'ils présentaient des interruptions très fréquentes, dues à une forte oscillation de la concentration de méthane dans le biogaz. Cette oscillation peut être réduite par un mélange de gaz naturel.
- Le coefficient de performance de la machine à absorption est très bas en raison d'une mauvaise intégration hydraulique. Une augmentation massive du coefficient de performance est prévue par une modification de la régulation, ainsi que par l'installation d'un variateur de fréquence sur une pompe de circulation.

Une sécurité d'exploitation accrue ainsi qu'une amélioration économique sont attendues par les mesures d'optimisation.

Inhaltverzeichnis

1	Ausgangslage	7
2	Auftrag	9
3	Vorgehen	9
4	Problemanalyse	10
4.1	Feststofffermenter.....	10
4.2	BHKW	10
4.3	Absorptionskältemaschine.....	11
5	Geprüfte Massnahmen	12
5.1	Betriebsoptimierung Feststofffermenter.....	12
5.2	Betriebsoptimierung BHKW	14
5.3	Betriebsoptimierung Absorptionskältemaschine	18
6	Empfohlene Massnahmen	20
6.1	Feststofffermenter.....	20
6.2	BHKW	20
6.3	Absorptionskältemaschine	21
7	Literatur	21

1 Ausgangslage

Die Emil Flachsmann AG (im weiteren Verlauf des Berichts kurz Flachsmann genannt) produziert Aromen, Getränkegrundstoffe und Pflanzenextrakte für die Pharma-, Ernährungs- und Genussmittelindustrie. Die Firma mit Sitz im zürcherischen Wädenswil wurde vor 67 Jahren gegründet. Sie beschäftigt heute rund 120 Angestellte.

Die Emil Flachsmann AG wurde im Jahre 2003 von der Firma Frutarom Ltd. übernommen. Aus Identifikationsgründen bezüglich früherer Publikationen zur Biogasanlage wurde für diesen Bericht die Firmenbezeichnung Flachsmann beibehalten.



Bild 1: Ansicht Biogasanlage Flachsmann

Die in der Produktion anfallenden 50 bis 200 m³ Abwasser pro Tag, welche eine organische Fracht von bis zu 20'000 Einwohnergleichwerten aufweisen, führten in der kommunalen Kläranlage zu Kapazitätsproblemen [1]. Gleichzeitig fallen täglich rund 13 t feste Extraktionsrückstände an. Deren Entsorgung wurde zusehends schwieriger und teurer. Darüber hinaus verlangte die Störfallverordnung den Bau eines Auffangbeckens. Bei der Suche nach einer umweltgerechten und ökonomisch vertretbaren Lösung zur Reduktion der Abwasserfracht und Entsorgung der Extraktionsrückstände entschied sich Flachsmann für den Bau einer Biogasanlage nach dem Prinzip der Co - Vergärung¹. Neben der Produktionsanlage für Biogas beinhaltet die Anlage auch zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) zur Wärme- und Stromproduktion aus Biogas sowie eine Absorptionskältemaschine zur Produktion von Prozess- und Klimakälte. Nach einer rund drei jährigen Planungs- und Bauphase mit Investitionskosten von 8.8 Mio. Franken wurde die Anlage im Frühsommer 1998 in Betrieb genommen.

¹ Unter "Co-Vergärung" versteht man die gemeinsame Vergärung von festen biogenen Abfällen (z.B. Speisereste und Rüstabfälle aus Grossküchen, gewerbliche Lebensmittelabfälle etc.) zusammen mit flüssigen Substraten wie Klärschlamm oder Gülle.

Da von Seiten Flachsmann für den Bau der Anlage keine Förderbeiträge vom Bund beantragt wurden, hat sich das Bundesamt für Energie im Jahre 2000 entschieden, eine Betriebsoptimierung der Anlage finanziell mit zu tragen. Unter anderem auch, weil diese Co - Vergärungsanlage als mustergültiges Beispiel der Öffentlichkeit publik gemacht werden soll.

Die Anlage besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Vorlagebehälter	400 m ³
Abwasserfermenter	210 m ³
Feststofffermenter	600 m ³
Gasspeicher	500 m ³
2 BHKW	2 x 160 kW _{el}
Absorptionskältemaschine	180 kW _{th}
Gasfackel	
Prozessleit- und Energiemanagementsystem	

Im Anhang A befinden sich ein Aufstellungsplan und ein Prinzipschema der Anlage.

2 Auftrag

Die in diesem Bericht dokumentierten Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) durchgeführt. Ziel dabei war, durch detaillierte Untersuchungen die Betriebsprozesse und Energieflüsse der Co - Vergärungsanlage Flachsmann zu optimieren.

Die folgenden beiden Firmen bildeten das Bearbeitungsteam:

- Weisskopf Partner GmbH, Albisriederstrasse 184b, 8047 Zürich
(Energie- und Haustechnik)
- Eugster Polyinfotechnik, Badenerstrasse 701, 8048 Zürich
(Prozesstechnik, MSRL)

3 Vorgehen

Das Vorgehen wurde wie folgt gewählt:

- Analyse der heutigen Probleme
- Prüfen von Optimierungsmassnahmen
- Definieren der empfohlenen Massnahmen
- Begleiten der Umsetzung

4 Problemanalyse

Seit gut 5 Jahren betreibt die Firma Flachsmann die neue Biogasanlage. Bereits seit Betriebsbeginn musste festgestellt werden, dass die Anlage nicht optimal funktioniert und einige betriebstechnische Schwachpunkte aufweist. Die Produktion von Biogas, elektrischer Energie sowie Wärmeenergie liegen deutlich unter den prognostizierten Erwartungen. Die funktionalen Probleme der Biogasanlage werden im folgenden dargestellt.

4.1 Feststofffermenter

Im Feststofffermenter wird mit den festen organischen Produktionsrückständen unter Luftausschuss Biogas produziert. Die Produktion ist stark abhängig von der Grüngutart, dem Beschickungszyklus sowie der im Feststofffermenter herrschenden Mikrobiologie. Diese Produktion verläuft nicht nach den Erwartungen aus der Planung und weist die folgenden Probleme auf.

- **Biogasmenge:** Das produzierte Biogas erreicht nicht die Menge, die bei der Planung vom Totalunternehmer garantiert wurde. Unterschiedlich anfallende Grüngutarten führen zu ungleichmässigen Beschickungen im Feststofffermenter, was zu einer Verzögerung im Vergärungsprozess führt. Eine gehemmte Mikrobiologie beeinflusst den Vergärungsprozess ebenfalls negativ.
- **Beschickungsrate:** Durch die oben beschriebenen Probleme im Vergärungsprozess fallen grosse Mengen an nicht beschickbaren festen Extraktionsrückständen an, die nicht in den Feststofffermenter geführt werden können. Das geringe Platzvolumen auf dem Werksareal zum Stapeln dieser Abfälle führt zu häufigen Entsorgungen, was einen hohen finanziellen Aufwand auf Seiten Flachsmann bedingt.
- **Schwankender Methangehalt:** Die Methankonzentration im Biogas aus dem Feststofffermenter schwankt zwischen 52...65 Vol.-%, diejenige aus dem Abwasserfermenter zwischen 73...84 Vol.-%. Da der Feststofffermenter gut 80 % zur Biogasproduktion beiträgt, verringert sich die Methangehaltsschwankung im Gasgemisch minimal auf 56...69 Vol.-%. Diese starke Schwankung ($\pm 6.5\%$) verursacht Probleme im Betrieb der BHKW.

4.2 BHKW

Die BHKW werden bei der Inbetriebnahme auf eine bestimmte Methankonzentration eingestellt. Abweichungen der Methankonzentration von grösser $\pm 5\%$ vom eingestellten Wert führen zu Betriebsstörungen. In der Biogasanlage Flachsmann tritt dieses Problem täglich durchschnittlich zehn mal auf. Dieses ungünstige Betriebsverhalten wirkt sich negativ auf die Lebensdauer aus und führt, zusammen mit den quantitativen Mängeln in der Biogasproduktion, zu geringerer Wärme- und Stromproduktion als geplant. Ausserdem konnte anhand der Laufzeiten festgestellt werden, dass die BHKW leistungsmässig stark überdimensioniert sind.

4.3 Absorptionskältemaschine

Die Leistung der Absorptionskältemaschine ist stark von der Wärmeleitung der BHKW abhängig. Die im Betrieb auftretenden Probleme der Absorptionskältemaschine werden in den folgenden beiden Punkten beschrieben.

- **Laufzeiten:** Durch die reduzierten Laufzeiten der BHKW ist die Wärmezufuhr zum Austreiber der Absorptionskältemaschine geringer als prognostiziert. Die Wärmezufuhr muss durch einen konventionellen Heizkessel kompensiert werden.
- **Regelung des Heisswassers zum Austreiber:** Die Leistungsziffer² liegt mit 0.50 weit unter dem ausgelegten Wert von 0.78. Das Temperaturniveau des Heisswassers ist entscheidend für die Leistungsziffer der Absorptionskältemaschine [2]. Je höher die Heisswassertemperatur am Eintritt, desto höher ist die Leistungsziffer der Kältemaschine.

Bei der aktuellen Regelung (siehe Bild 4.3 unten) wird die Temperatur T_k im Kühlkreislauf über die Temperatur des Heisswassers zum Austreiber geregelt (per Rücklaufbeimischung). Bei Teillastbetrieb sinkt die Heisswassertemperatur in den Austreiber, was die folgenden zwei negativen Auswirkungen auf das System hat:

- Tiefere Leistungsziffer der Kältemaschine
- Variable und tiefere Rücklauftemperatur im Heisswasserkreislauf, was die Nutzung durch die nachfolgenden Verbraucher beeinträchtigt

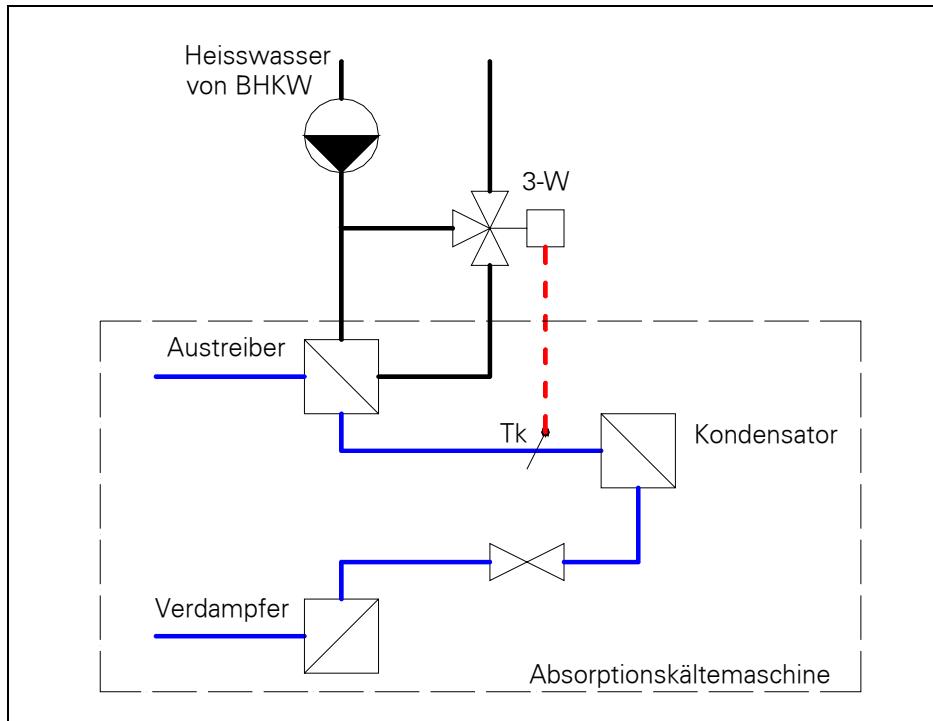


Bild 4.3: Aktuelle Regelung des Austreibers

² Unter der Leistungsziffer oder COP (coefficient of performance) einer Absorptionskältemaschine versteht man das Verhältnis zwischen der Kälteleistung Q_0 am Verdampfer zur Heizleistung Q_h am Austreiber. $COP = Q_0 / Q_h$

5 Geprüfte Massnahmen

Die folgenden geprüften Massnahmen sind nach den analysierten Problemen gegliedert. Weitere analysierte Massnahmen zur Optimierung der Betriebsprozesse finden sich im Anhang C. Aufgrund der zu erwartenden geringen Verbesserungspotentiale sind diese aber im Verlauf dieser Untersuchungen nicht mehr weiter verfolgt worden.

5.1 Betriebsoptimierung Feststofffermenter

Bei der Optimierung des Feststofffermenters wurde vor allem die Verbesserung der Mikrobiologie angestrebt.

Durch die spezialisierte Firma Entec Environment Technology, 6972 Fussach, Österreich, wurde eine Spurenelementanalyse des Fermenterinhaltes durchgeführt. Während die meisten essenziellen Spurenelemente, welche für eine gut funktionierende Biologie nötig sind, in üblichen Konzentrationen von 10 bis 100 mg/l Biomasse gefunden wurden, lag der Wert für Selen bei ungewöhnlich tiefen 0.01 mg/l. Der Sachverhalt wurde detaillierter untersucht.

Mit Proben aus dem Feststofffermenter und der unbeschickten Biomasse wurde mit unterschiedlicher Selenzugabe eine Versuchsreihe gefahren (siehe Bild 5.1).

Ausgangslage:	Gärvolumen: 2.0 l, Gärtemperatur: 35 °C			
Menge Selenzusatz in [mg/l]	Ansatz 1	Ansatz 2	Ansatz 3	Ansatz 4
0.0	0.0	0.3	1.0	3.0

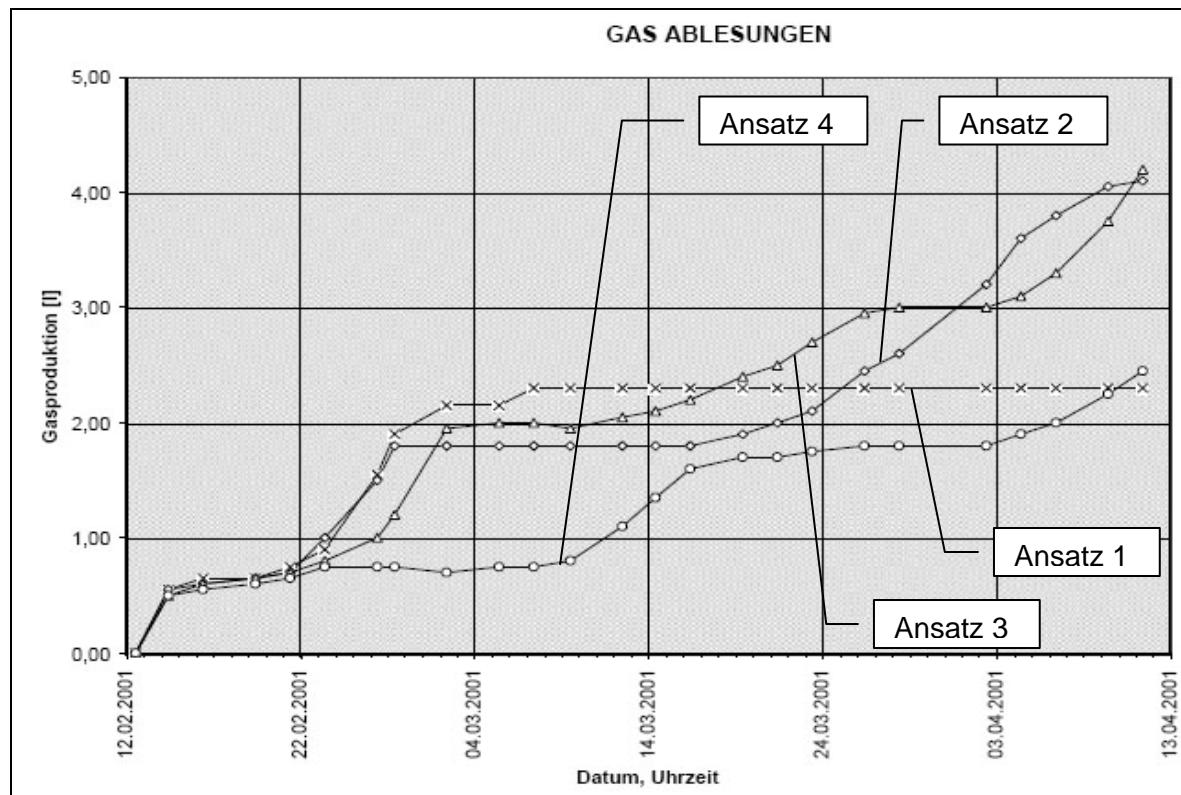


Bild 5.1: Versuchsreihe Selenzugabe

Produktionsverlauf	Ansatz 1	Ansatz 2	Ansatz 3	Ansatz 4
1. Produktionsphase	0.6 l	0.6 l	0.6 l	0.6 l
1. Lagphase (Produktion)	7 Tage (0.2 l)	7 Tage (0.1 l)	7 Tage (0.1 l)	26 Tage (0.2 l)
2. Produktionsphase	1.5 l	1.1 l	1.3 l	0.8 l
2. Lagphase (Produktion)	-	18 Tage (0.0 l)	10 Tage (0.1 l)	16 Tage (0.2 l)
3. Produktionsphase	-	2.3 l	0.9 l	0.7 l
3. Lagphase (Produktion)	-	-	6 Tage (0.0 l)	-
4. Produktionsphase	-	-	1.2 l	-
Endproduktion (Tendenz)	2.3 l (stagnierend)	4.1 l (stagnierend)	4.2 l (steigend)	2.5 l (steigend)

Aus der Versuchsreihe liessen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- **Selenmangel:** Im Feststofffermenter sind noch abbaubare Substanzen enthalten, die aber erst nach der Zugabe von Selen abgebaut werden. Eine Ergänzung mit diesem Spurenelement ist daher unbedingt erforderlich.
- **Selenhemmung:** Die extrem verlängerte Lagphase bei den höchsten Selendosierungen weist auf eine Hemmung durch dieses Spurenelement hin. Bei der Ergänzung mit Selen ist daher unbedingt darauf zu achten, dass es zu keiner Überdosierung kommt. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Zugabe von kleinen Dosen über längere Zeit effizienter und sicherer ist als die Zugabe von wenigen, aber hohen Dosen.
- **Diauxieeffekte:** Die Mikroorganismen verwerten bei gleichzeitigem Vorliegen mehrerer Substanzen diese nicht gleichzeitig, sondern eine nach der anderen. Je nach Abbaubarkeit dieser Substanzen können dazwischen längere Lagphasen liegen. Dies ist am deutlichsten bei Ansatz 3 festzustellen. Um die Bakterien anzuregen, alle verfügbare Biomasse abzubauen, müssen sie daher nach einer ersten Selenzugabe "ausgehungert" werden. D.h. die Biomassebeschickung ist über längere Zeit einzustellen.

5.2 Betriebsoptimierung BHKW

Hauptziel der BHKW - Betriebsoptimierung ist das Erreichen eines kontinuierlichen Betriebs. Dies kann einzig durch einen konstanten Methangehalt erreicht werden. Dazu gibt es die folgenden beiden Möglichkeiten:

- **Optimieren der Biogasproduktion:** Die Möglichkeit der Optimierungen der Biogasproduktion ist im Abschnitt 5.1 dargestellt. Dabei wurde festgestellt, dass die Biogasproduktion von vielen Faktoren (Beschickungszyklus, Beschickungsdauer, unterschiedliche Grüngutarten, Mikrobiologie in den Fermentern usw.) abhängt. Ein genügend konstanter Methangehalt, der einen unproblematischen BHKW - Betrieb ermöglicht, ist mit dieser Optimierung schwer erreichbar.
- **Beimischen von Erdgas:** Das Beimischen von Erdgas ins Biogas kann die Problematik der schwankenden Methankonzentration lösen. Dank dem hohen Methananteil (>90 %) ist bereits durch die Zudosierung von geringen Mengen an Erdgas der Methangehalt des resultierenden Gemisches zu stabilisieren. Hierzu wurden die folgenden drei Möglichkeiten untersucht:
 - Variante 1: Direkte Erdgasbeimischung vor dem BHKW mit *naturemade star* Ökostromproduktion
 - Variante 2: Direkte Erdgasbeimischung vor dem BHKW mit maximal möglicher Wärmeproduktion
 - Variante 3: Beimischen von Erdgas im Biogas - Sammelbehälter mit *naturemade star* Ökostromproduktion

Vor der detailliereren Betrachtung dieser drei Massnahmenvarianten sind die überdimensionierten BHKW genauer zu untersuchen.

Ein BHKW muss gemäss Eidgenössischem Energiegesetz nach dem vorliegenden Wärmebedarf dimensioniert und betrieben werden, mit dem Ziel einer vollständigen Abwärmenutzung [3]. Durch geeignete Bewirtschaftung des Wärmespeichers kann der Nettoerlös der Stromproduktion beeinflusst werden. Eine Vernichtung von Wärmeenergie aus fossil betriebenen BHKW zur Erhöhung der Stromproduktion ist nicht zulässig. Anhand der folgend aufgezeigten Biogasenergieflüsse kann die Dimensionierung der BHKW bei Flachsmann beurteilt werden.

Aktuelles Wärmeerzeugungspotential aus der Biogasproduktion	1000	[MWh _{th}]
Wärmebedarf Flachsmann	2300	[MWh _{th}]
Aktuelles Stromerzeugungspotential aus der Biogasproduktion	500	[MWh _{el}]
Strombedarf Flachsmann	1000	[MWh _{el}]

Folgebetrachtungen:

- Aufgrund des doppelten Wärmebedarfs gegenüber dem Wärmeerzeugungspotential aus der Biogasproduktion ist eine vollständige Abwärmenutzung garantiert.
- Betrachtet man die Wärmeleistung pro BHKW von 280 kW und das Wärmeerzeugungspotential Flachsmann von 1000 MWh, so ergibt dies eine Laufzeit von je 1750 Betriebsstunden bzw. 3500 Betriebsstunden, wenn nur ein BHKW in Betrieb ist. Daraus ist ersichtlich, dass für die Wärmeerzeugung aus der Biogasproduktion ein BHKW zu knapp 45 % ausgelastet ist (bei maximal angenommenen 8000 Betriebsstunden pro Jahr). Demzufolge ist das zweite BHKW nicht notwendig.
- Für das nachfolgende Variantenstudium wird bereits berücksichtigt, dass ein BHKW für die Energieproduktion Flachsmann genügt. Das zweite BHKW kann stillgelegt, konserviert und als Ersatzteillager genutzt werden. Es wird in den folgenden Untersuchungen nicht mehr weiter betrachtet.

5.2.1 Variante 1: Direkte Erdgasbeimischung vor dem BHKW mit Öko-stromproduktion

Diese Variante sieht vor, zwischen dem Biogas - Sammelbehälter und dem BHKW eine Erdgas - Beimischstation einzubauen. Durch das Beimischen von Erdgas kann die Methankonzentration im Biogas angereichert und stabilisiert werden. Die Konzentration (c_{Methan}) wird nach der Beimischstation gemessen und dient als Regelgröße für das Beimischen von Erdgas. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die Erdgasbeimischung das BHKW umgebaut werden muss (Elektronische λ - Regelung, λ - Sonde, Mischeinrichtung Gas - Luft).

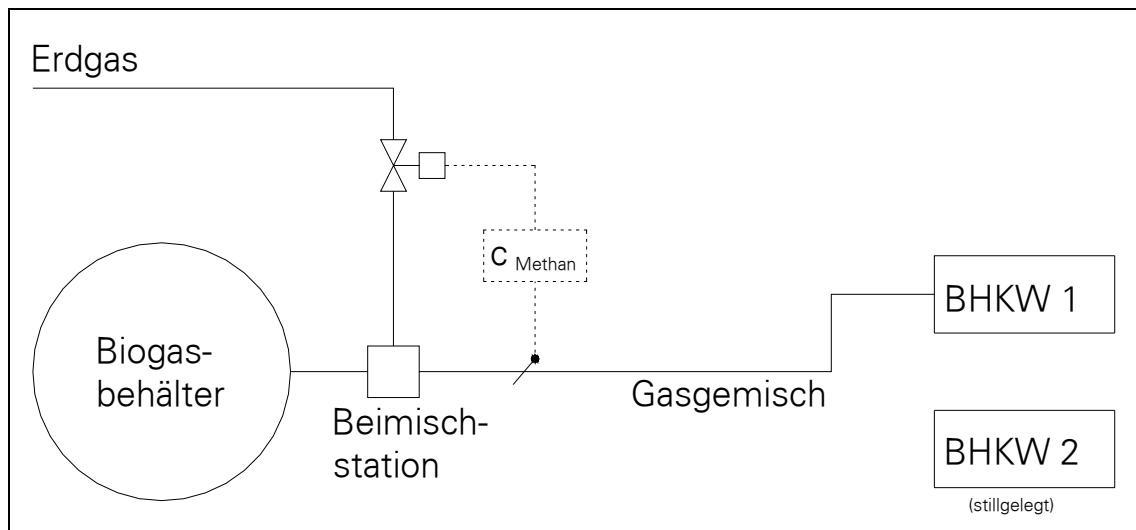


Bild 5.2.1: Direkte Erdgasbeimischung

Die Produktion von *naturemade star* Ökostrom wird anvisiert. Dies bedeutet, dass der jährliche Anteil von Erdgas, gegenüber der Gesamtenergie aus der Summe von Erdgas und Biogas, nicht höher als 34 % sein darf. Entsprechende Angaben zur Ökostromzertifizierung finden sich im Anhang G.

Vorteile:

- Nahezu konstante Methankonzentration
- Produktion und Verkauf von *naturemade star* Ökostrom

Nachteile:

- Aufwändige und teure Regelung (im Durchflussverfahren) notwendig
- Geringe Auslastung des BHKW (jährlich ca. 3500 Betriebsstunden), da die Ökostromproduktion anvisiert wird

5.2.2 Variante 2: Direkte Erdgasbeimischung vor dem BHKW mit maximal möglicher Wärmeleitung

Die Erdgasbeimischung soll, wie bei der Variante 1, direkt vor dem BHKW stattfinden. Es soll dabei allerdings eine maximale Wärmeleitung anvisiert werden. Dies entspricht 7500 BHKW - Betriebsstunden auf Vollast. Unter der Annahme einer konstanten Methankonzentration im Erdgas ergibt sich ein Erdgasanteil im Gasgemisch von knapp 53 %. Die Schwankung der Methankonzentration verringert sich dabei auf $\pm 3\%$, was theoretisch einen störungsfreien Betrieb erlauben sollte. Da jedoch auch im Erdgas kurzzeitige Methangehaltsschwankungen nicht auszuschliessen sind, ist in der Praxis dennoch mit zeitweisen Störungen zu rechnen.

Vorteile:

- Hohe Ausnutzung des BHKW (jährlich ca. 7500 Betriebsstunden)
- Maximal mögliche Wärme- und Stromproduktion

Nachteile:

- Betriebsstörungen durch Schwankungen im Methangehalt des Gasgemisches sind nicht auszuschliessen
- 40 % geringerer finanzieller Ertrag durch Produktion von billigem Allgemeinstrom, da die Ökostromproduktion nicht erreicht wird (der Energieanteil von Erdgas ist wesentlich höher als 34 %)

5.2.3 Variante 3: Beimischen von Erdgas im Biogas - Sammelbehälter mit Ökostromproduktion

Diese Variante sieht eine Erdgasbeimischung in den Biogas - Sammelbehälter vor. Darin wird der Methangehalt (c_{Methan}) gemessen und bei zu tiefem Wert durch Beimischen von Erdgas korrigiert.

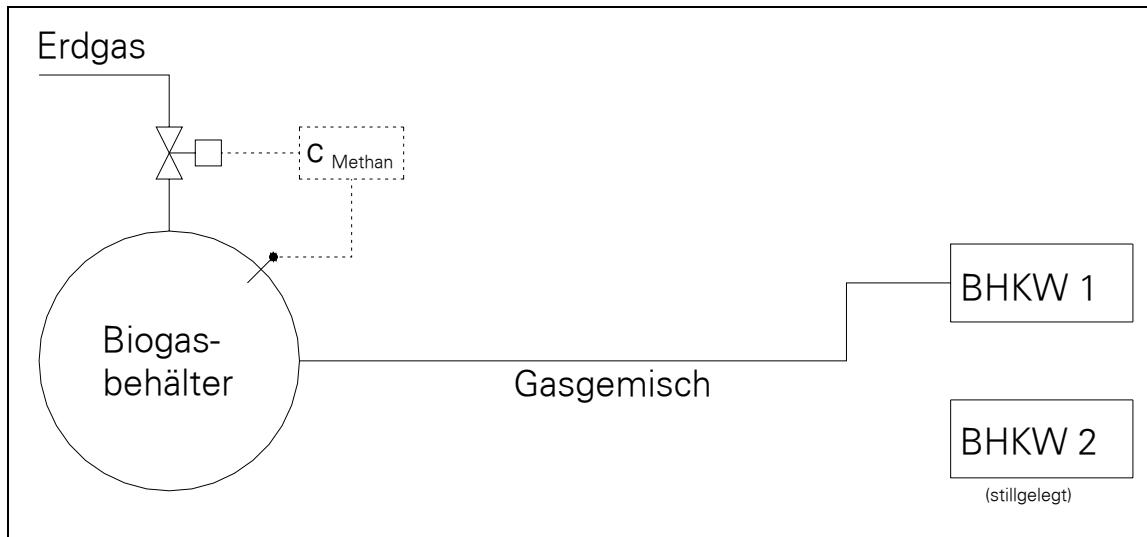


Bild 5.2.3: Ergasbeimischung in Biogas - Sammelbehälter (Ein detailliertes Schema dazu findet sich im Anhang D)

Wie bei der Variante 1 wird die Produktion von Ökostrom anvisiert.

Vorteile:

- Einfache Regelung der Methangaskonzentration
- Erreichen von konstanter Methangaskonzentration dank statischer Mischung
- Wirtschaftlich attraktivste Variante

Nachteile:

- Geringe Auslastung des BHKW (jährlich ca. 3500 Betriebsstunden), da die Ökostromproduktion anvisiert wird

5.2.4 Variantenvergleich

- **Vergleich Variante 1 mit Variante 3:**

Die Variante 1 unterscheidet sich einzig in der Art der Erdgasbeimischung von der Variante 3. Sie hat aber gegenüber dieser entscheidende Nachteile wie z.B. eine apparativ komplexere und damit teurere Beimischeneinrichtung, was ausserdem zu höheren Unterhaltskosten führen würde. Zudem ist die Regelung der Methankonzentration in Variante 1 (im Durchflussverfahren) schwieriger als in Variante 3 (praktisch statische Regelung). Aufgrund dieser Nachteile fällt die Variante 1 für die näheren Betrachtungen weg.

- **Vergleich Variante 2 mit Variante 3:**

Die Variante 2 unterscheidet sich in der Art der Erdgasbeimischung und der BHKW – Laufzeit von der Variante 3. Durch die höheren Betriebsstunden ist auch ein Mehrertrag von elektrischem Strom und Wärmeenergie möglich. Allerdings kann der Stromertrag nicht mehr als Ökostrom, sondern nur als Allgemeinstrom in die Kostenrechnung einfließen. Wie aus den Anhängen F und G ersichtlich ist, wurden für die Variante 2 (maximal mögliche Wärmeproduktion) und die Variante 3 (Ökostromproduktion) Stromdifferenzkosten errechnet. Diese sind abhängig von den jährlichen Energiekosten, Wartungs- und Betriebskosten sowie den Kapitalkosten. Zu berücksichtigen ist, dass die Kapitalkosten ohne Restwert der Anlage betrachtet wurden. Darin enthalten sind nur der Umbau auf Erdgasbeimischung sowie einzelne Anpassungen des BHKW. Aufgrund dieser Annahme würde sich zukünftig für beide Varianten das umgebaute BHKW auf einem sehr hohen, gewinnbringendem Niveau betreiben lassen. Wobei zu beachten ist, dass die Variante 3 gegenüber der Variante 2 um ca. 40 % höhere Gewinne abwirft. Die Variante 2 beinhaltet zudem, durch den unkonstanten Methangehalt im Gasgemisch, immer noch ein Restrisiko bezüglich möglicher Betriebsunterbrüche. Aus diesen Gründen fällt die Variante 2 für nähere Betrachtungen weg.

Die Variante 3 wird als wirtschaftlich und betriebstechnisch sinnvollste Betriebsoptimierung des BHKW betrachtet.

5.3 Betriebsoptimierung Absorptionskältemaschine

Die optimale Auslegung für die Absorptionskältemaschine bei Flachsmann basiert auf Vorlauftemperaturen im Heisswasserkreislauf zwischen 105 - 110°C. Damit sollten Leistungsziffern bis 0.87 erreicht werden. Bei Flachsmann wird diese durch das tiefe Temperaturniveau aus den BHKW negativ beeinflusst. Die durchschnittliche Vorlauftemperatur beträgt 89°C und die Leistungsziffer liegt bei tiefen 0.48 [2]. Diese soll durch die im folgenden beschriebene regelungstechnische Änderung verbessert werden.

Der Pumpe im Heisswasserkreislauf soll ein Frequenzumformer (FU) zur Drehzahlregelung eingebaut werden. Das 3 - Wege Ventil (3-W) hat nun die Aufgabe die Temperatur im Heisswasservorlauf (Tv) auf konstante 89°C zu regeln (nach Bild 5.3).

Durch die Drehzahlregelung kann nun die Leistung des Austreibers variiert werden. Damit wird der Kältekreislauf zwischen dem Austreiber und dem Kondensator der Absorptionskältemaschine auf eine vom Sollwert abhängige Temperatur (T_k) geregelt (Vergleiche dazu die aktuelle Regelung im Schema 4.1).

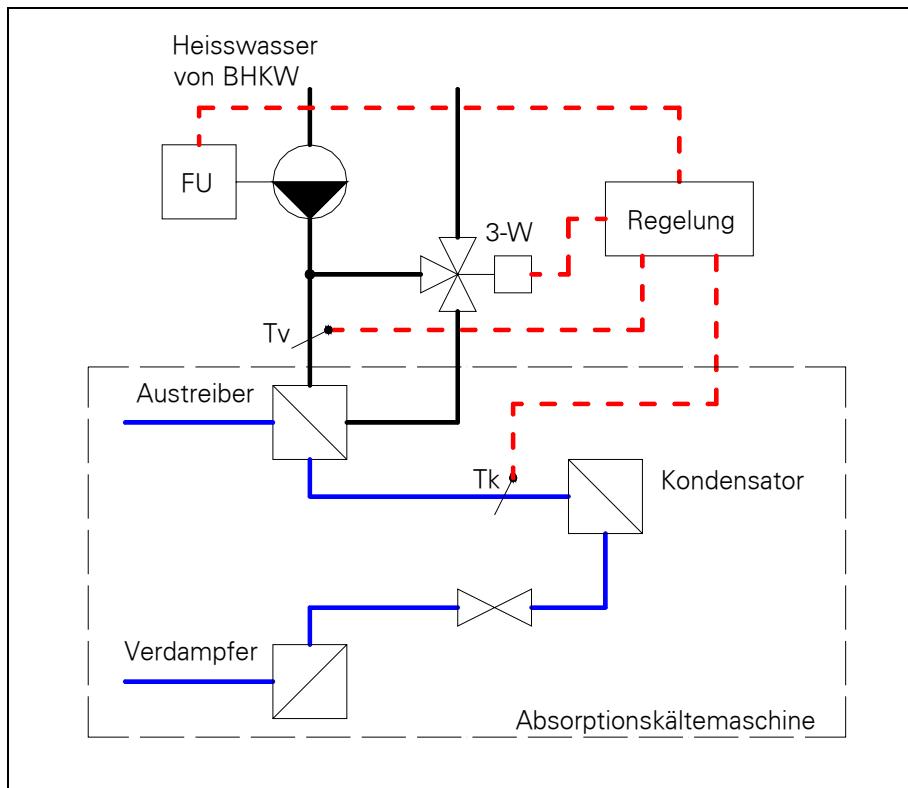


Bild 5.3: Empfohlener Umbau der Regelung des Austreibers

Durch diese Optimierung kann mit dem gleichen Wärmeeintrag 20 % mehr Kälteenergie erzeugt werden. Damit steigt die Leistungsziffer der Absorptionskältemaschine von 0.48 auf knapp 0.60. Da die Kältemaschine aufgrund der tiefen Biogasproduktion nur im Teillastbetrieb arbeiten kann, ist die ausgeschriebene Leistungsziffer von 0.78 nicht zu erreichen. Allerdings wird durch die betriebsoptimierende BHKW - Variante 3 (konstanter Betrieb, längere Laufzeiten) nochmals eine wesentliche Verbesserung der Leistungsziffer der Absorptionskältemaschine erwartet.

Dieser Umbau bringt zusätzlich den Vorteil, dass die Rücklauftemperatur von 75°C konstant bleibt. Dieses hohe Temperaturniveau ist für die nachstehenden Verbraucher wichtig.

6 Empfohlene Massnahmen

Im folgenden sind die drei Massnahmen aufgeführt, welche nach deren Ausarbeitung zur Ausführung empfohlen wurden. Eine Massnahmen ist in der Zwischenzeit umgesetzt worden. Für die beiden anderen Massnahmen sind, nach der Übernahme von Flachsmann durch die Firma Frutarom, bisher keine finanziellen Mittel für die Umsetzung bereit gestellt worden.

6.1 Feststofffermenter

Der Vorschlag Vergärungsbeschleuniger wurde als wirksame Verbesserung bei der Biogasproduktion erkannt. Mit der Zugabe von Selen wurde bereits Mitte 2001 begonnen, wobei sich in diesem Jahr die Biogasproduktion gegenüber dem Jahr 2000 um ca. 3 % erhöhte. Als im Jahr 2002 die Produktionsmenge jedoch wieder sank, wurde auf Anfang 2003 das Selen durch Schweinegülle ersetzt.

Dabei wird der Feststofffermenter einmal wöchentlich mit 20 m³ Schweinegülle beschickt. Diese Umstellung brachte eine deutliche Verbesserung bezüglich Schwankung des Methangehaltes, die sich damit auf $\pm 3\%$ verringert. Ausreisser mit höheren Schwankungen treten dabei nur noch selten auf. Die Biogasproduktion konnte mit dieser Umstellung um ca. 3 % gesteigert werden. Durch den Einsatz der Schweinegülle werden zudem auch Betriebskosten eingespart, da das Selen, verglichen mit der kostenlos zu beziehenden Schweinegülle, sehr teuer war.

Umsetzung: Zur Beschleunigung der Vergärung wird der Feststofffermenter einmal wöchentlich mit 20 m³ Schweinegülle beschickt.

6.2 BHKW

Durch den Umbau des einen BHKW auf Mischbetrieb (Biogas - Erdgas) sowie den Umbau des Biogas - Sammelbehälters auf Erdgasbeimischung (Variante 3 aus Kapitel 5.2), wird ein zuverlässiger Betrieb des BHKW erreicht sowie wesentliche Betriebskosten gespart. Zudem ist diese Variante durch die Produktion von Ökostrom sehr wirtschaftlich (siehe Kapitel 5.2).

Wie aus dem Anhang B ersichtlich ist, können verschiedene Erdgasbeimischmengen anvisiert werden. Je nach beigemischter Menge an Erdgas stellt sich ein bestimmter Methangehalt des Gasgemisches ein. Je höher dieser Methangehalt, desto höher der Heizwert des Gasgemisches. Ist jedoch der zugemischte Energieanteil an Erdgas höher als 34 % so kann der produzierte BHKW - Strom nicht mehr als *naturemade star* Ökostrom verkauft werden. Es soll also der Anteil Erdgas mit genügender Reserve festgelegt werden. Dazu wird ein Erdgasanteil von 23 Vol.-% empfohlen. Dadurch kommt der durchschnittliche Methangehalt des Gasgemisches auf 70 % zu liegen. Mit 23 Vol.-% Erdgas liegt der Energieanteil noch 6 % unter dem kritischen Wert von 34 %, der den im BHKW produzierten Strom von der Ökostromzertifizierung ausschliessen würde.

Empfehlung: Die Variante 3 wird aufgrund einer starken Verbesserung der Betriebssicherheit sowie aus wirtschaftlichen Gründen zur Ausführung empfohlen.

6.3 Absorptionskältemaschine

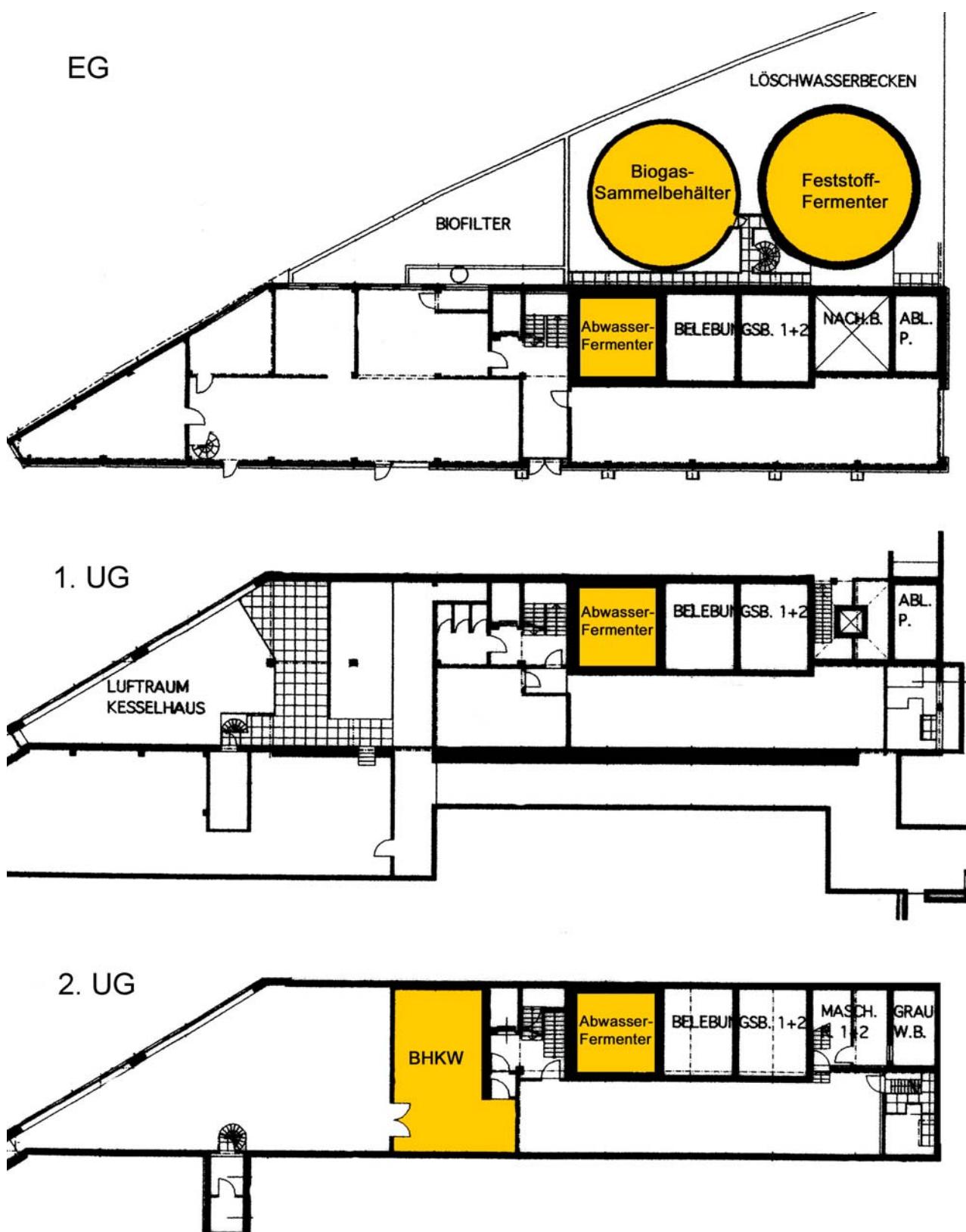
Die regelungstechnischen Änderungen bei der Ansteuerung der Absorptionskältemaschine gemäss Kapitel 5.3 bringen zwei Verbesserungen. Einerseits wird durch diese Massnahme der Wirkungsgrad der Absorptionskältemaschine stark erhöht, andererseits wird Pumpenenergie gespart. Gemäss dem Bericht "Optimierung Absorber / Rückkühlung" [2] ist der Umbau der Kältemaschine, mit einem jährlichen Mehrertrag von ca. CHF 3500.-, wirtschaftlich gewinnbringend.

Empfehlung: Die regelungstechnischen Anpassungen bringen wirtschaftliche und betriebstechnische Vorteile und werden zur Ausführung empfohlen.

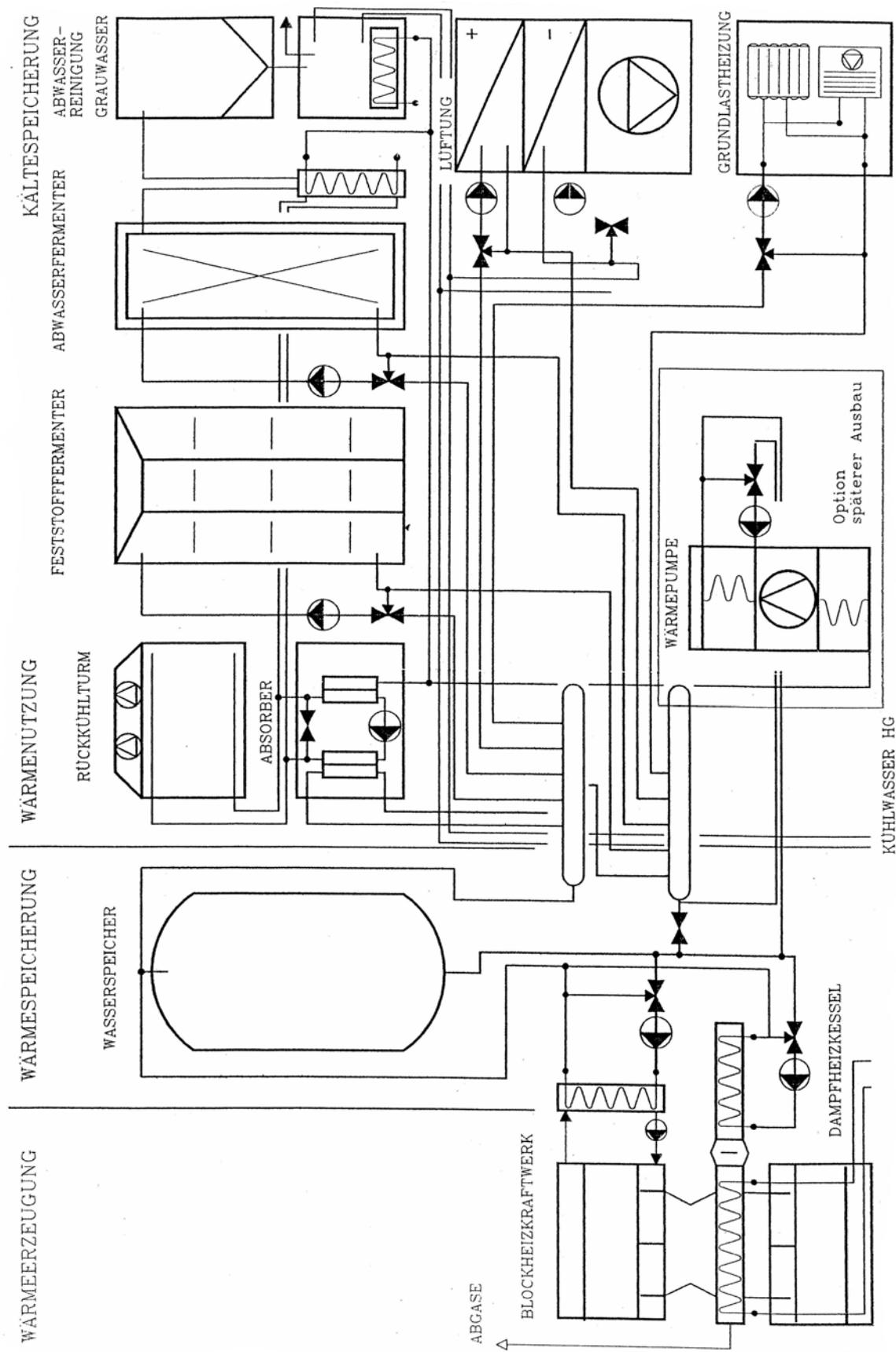
7 Literatur

- [1] Abwasser und Abfälle als Energiequellen, Broschüre M67d 1.99 aus der Reihe Energie Innovation, Aktionsprogramm Energie2000, Infoenergie
- [2] Internes Arbeitspapier, Optimierung Absorber / Rückkühlung, Eugster Polyinfo-technik, Weisskopf Partner GmbH
- [3] Energiegesetz EnG 730.0 vom 26. Juni 1998, Art. 7 "Anschlussbedingungen für unabhängige Produzenten", Absatz 1

Anhang A1: Aufstellungsplan



Anhang A2: Prinzipschema



Anhang B: Methan - Konzentration

Randbedingungen vor der Optimierung

durchschnittliche Biogasproduktion	[m ³ /Jahr]	236'400
durchschn. Methankonzentration	[Vol.-%]	62.6
minimale Methankonzentration	[Vol.-%]	55.9
maximale Methankonzentration	[Vol.-%]	68.6
Richtwert Methangehalt Erdgas	[Vol.-%]	91.0
durchschnittlicher. Heizwert Biogas	[MJ/m ³]	25.0
durchschnittlicher. Heizwert Erdgas	[MJ/m ³]	34.0

Ökostromproduktion nach BHKW Variante 3

Zielwert Methankonzentration	[Vol.-%]	68.0	68.5	69.0	69.5	70.0
Jährlicher Erdgasverbrauch	[m ³ /Jahr]	55'826	62'320	69'109	76'214	83'657
Anteil Erdgas an Gasgemisch	[Vol.-%]	19.1	20.9	22.6	24.4	26.1
Energieanteil Erdgas an Gasgemisch*	[Energie-%]	24.3	26.4	28.4	30.5	32.5

* Max. erlaubter Grenzwert von Erdgas für Ökostromproduktion mit Biogas-Erdgas-Gemisch = 34%

Maximale Stromproduktion nach BHKW Variante 2

Zielwert Vollbetriebsstunden	[h/Jahr]	7500
BHKW - Leistung inkl. Wirkungsgrad	[kW _{el+th}]	518
Jahresenergie Gasgemisch	[MWh/Jahr]	3882
Jahresenergie Biogas	[MWh/Jahr]	1642
Biogasverbrauch pro Jahr	[m ³ /Jahr]	236'400
Erdgasverbrauch pro Jahr	[m ³ /Jahr]	237'249
Erdgasanteil im Gasgemisch	[Vol.-%]	50.1
minimale Methankonzentration	[Vol.-%]	73.5
maximale Methankonzentration	[Vol.-%]	79.8

Anhang C: Weitere mögliche Optimierungsmassnahmen

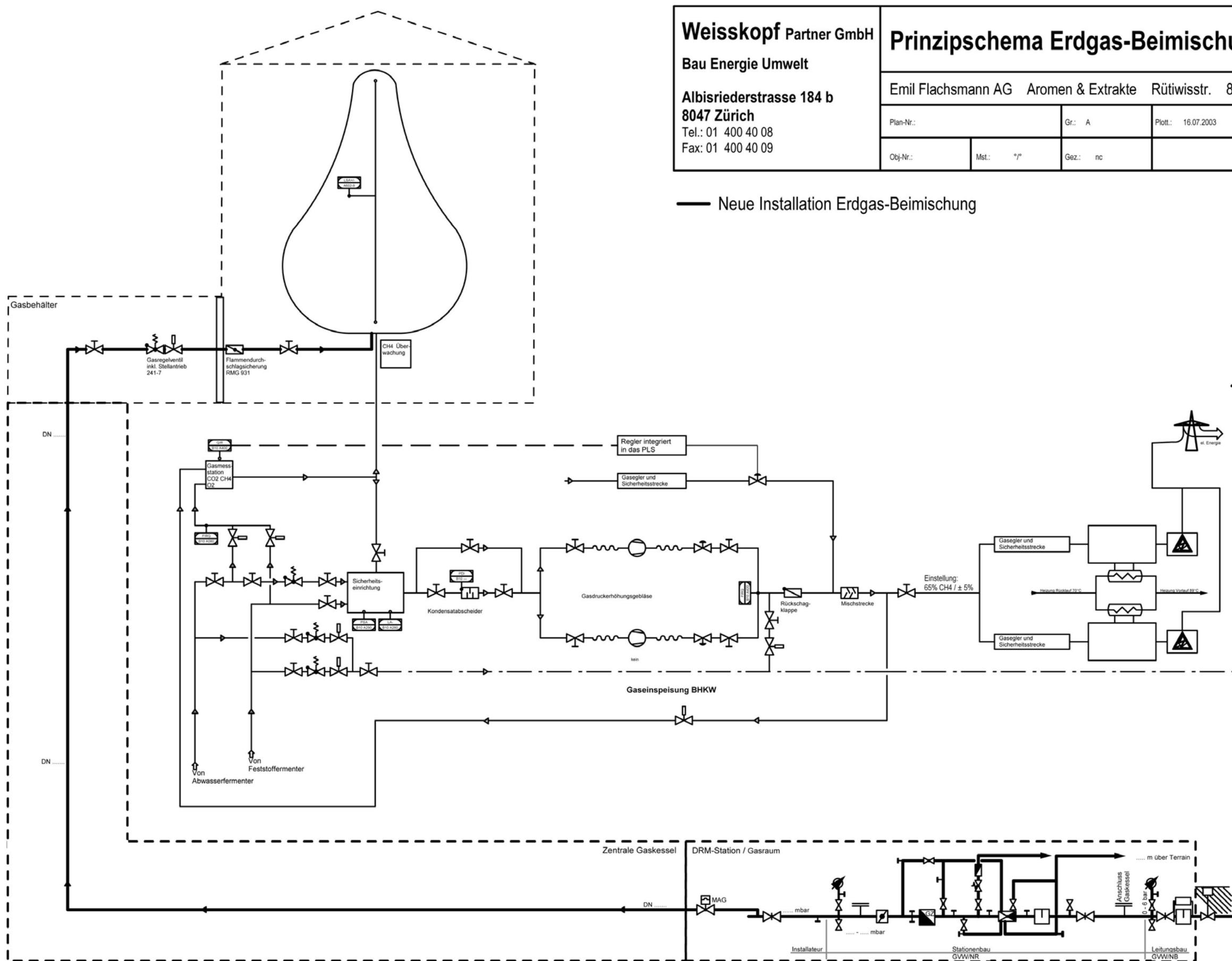
Biogasanlage

- Kosteneinsparung durch Umbau aller Doppelpumpen von Parallelbetrieb auf Master - Slave - Betrieb [2]
- Kenngrößen für die zu erwartende Biogasproduktion bestimmen und im Energiemanagementsystem als Prognose - Werte integrieren

Heizzentrale

- Ventilator - Regime des Kühlturmes optimieren
- Wärmeentnahme aus dem Abgas des Dampfkessels optimieren (Funktion Abgasklappe wieder herstellen, Abgas - Messstutzen)
- Ladungsregimes der 3 technischen Speicher prüfen, fallweise hydraulischer Neuabgleich
- Messstelle ND - Dampf prüfen und neu kalibrieren
- Zuluft- / Fortluftsituation im Kesselhaus und Verbrennungsluftsituation nach Isolieren der Dampfkesseltüren prüfen
- Anleitung Inbetriebnahme alter Dampfkessel erstellen

Anhang D: Schema Erdgasbeimischung in Biogas - Sammler



Anhang E: Stromdifferenzkosten der Variante 3 (*naturemade star* Ökostromproduktion)

Bezeichnung	Einheit	Erdgas mit 4.8 Rp./kWh Betrag	Erdgas mit 3.6 Rp./kWh Betrag	Bemerkung
Energiekosten	[CHF/a]	28'300	21'200	
Kapitalkosten (BHKW - Umbau)	[CHF/a]	21'900	21'900	ohne Restwert der BHKW - Investition
Wartungs- und Betriebskosten	[CHF/a]	18'000	18'000	
Jährliche Einnahmen	[CHF/a]	208'800	208'800	inkl. Kosteneinsparungen (Strom/Wärme) sowie Betriebskosteneinsparung infolge geringerer Probleme im Feststoff fermenter
durchschnittlicher Heizwert Biogas	[kWh/m ³]	6.94		
Energie Biogas	[MWh _e /a]	495		
	[MWh _{th} /a]	1030		
durchschnittlicher Heizwert Erdgas	[kWh/m ³]	9.44		
Energie Erdgas	[MWh _e /a]	191		28.4% Energieanteil von Biogas
	[MWh _{th} /a]	398		28.4% Energieanteil von Biogas
Produktion BHKW aus Erdgas	[MWh _e /a]	163		inkl. Wirkungsgrad (85%)
	[MWh _{th} /a]	338		inkl. Wirkungsgrad (85%)
Produktion BHKW gesamt	[MWh _e /a]	583		inkl. Wirkungsgrad (85%)
	[MWh _{th} /a]	1214		inkl. Wirkungsgrad (85%)
Jahreskosten	[CHF/a]	-140'600	-147'700	negative Werte bedeuten Gewinne
Abzüglich Energiekosten thermisch	[CHF/a]	19'100	14'300	
Jahreskosten Stromproduktion	[CHF/a]	-159'700	-162'000	negative Werte bedeuten Gewinne
Differenzkosten Strom	[CHF/kWh]	-0.274	-0.278	negative Werte bedeuten Gewinne

Anhang F: Stromdifferenzkosten der Variante 2 (maximale mögliche Wärmeproduktion)

Bezeichnung	Einheit	Erdgas mit 4.8 Rp./kWh Betrag	Erdgas mit 3.6 Rp./kWh Betrag	Bemerkung
Energiekosten	[CHF/a]	113'000	84'900	
Kapitalkosten (BHKW - Umbau)	[CHF/a]	28'200	28'200	ohne Restwert der BHKW - Investition
Wartungs- und Betriebskosten	[CHF/a]	33'000	33'000	
Jährliche Einnahmen/Einsparungen	[CHF/a]	255'200	255'200	Kosteneinsparungen (Strom/Wärme) sowie Betriebskosteneinsparung infolge geringerer Probleme im Feststoff fermenter
Energie Biogas	[Mwh _e /a] [MWh _{th} /a]	495 1030		
BHKW Jahresproduktion	[Mwh _e /a] [MWh _{th} /a]	1200 2100		1x160kW während 7500h 1x280kW während 7500h
Energie Erdgas	[Mwh _e /a] [MWh _{th} /a]	917 1441		
Jahreskosten	[CHF/a]	-81'000	-109'100	negative Werte bedeuten Gewinne
Anteil Energiekosten thermisch	[CHF/a]	69'100	51'900	
Jahreskosten Stromproduktion	[CHF/a]	-150'100	-161'000	negative Werte bedeuten Gewinne
Differenzkosten Strom	[CHF/kWh]	-0.164	-0.176	negative Werte bedeuten Gewinne

Anhang G: Ökostrom

naturemade !

VUE Verein für umweltgerechte Elektrizität
Oetenbachgasse 1
8001 Zürich
Telefon 01 213 10 21
Fax 01 213 10 25
www.naturemade.ch
info@naturemade.ch

Thomas Weisskopf
Weisskopf Partner GmbH
Hagenbuchrain 20
8047 Zürich

Zürich, 6. August 2002

naturemade star Zertifizierung, Biogas-WKK-Anlage Emil Flachsmann AG

Sehr geehrter Herr Weisskopf

Wir nehmen Bezug auf Ihre Anfrage vom 13. Mai 2002 und können Ihnen das Resultat der Diskussionen in unserem Verein wie folgt mitteilen:

Die Arbeitsgruppe Kriterien des Vereins für umweltgerechte Elektrizität VUE hat an ihrer Sitzung vom 4. Juli 2002 das Anliegen der Emil Flachsmann AG aufgenommen und beschlossen, nicht einzeln den Fall Flachsmann zu behandeln, sondern eine generelle Regelung zu treffen für Anlagen, die aus Grüngut Strom produzieren und dazu sowohl biogene Abfälle als auch weitere Energieträger einsetzen.

Nach einigen Abklärungen wurde folgender Beschluss gefasst:

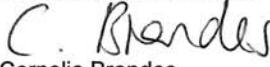
Anlagen, die aus Grüngut Strom produzieren und dazu sowohl biogene Abfälle als auch weitere Energieträger einsetzen, sind grundsätzlich zur Zertifizierung mit *naturemade star* zugelassen, wenn

- die Anlage nachweislich auf die Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen hin ausgelegt ist,
- im Jahresdurchschnitt der Anteil der biogenen Abfälle am Gesamtenergieeinsatz der Anlage mindestens 66% beträgt, wobei die einzelnen Anteile am Gesamtenergieeinsatz kontinuierlich messtechnisch erfasst werden müssen.

Und natürlich ist nur diejenige Strommenge zertifizierbar, welche dem Anteil der biogenen Abfälle am Gesamtenergieeinsatz der Anlage entspricht.

Wir freuen uns, dass somit aus unserer Sicht einer Aufnahme der Zertifizierungsaktivitäten für die Anlage von Emil Flachsmann AG nichts mehr im Wege steht.

Mit freundlichen Grüßen


Cornelia Brandes
Geschäftsleiterin

Kopie

R. Colombi, E. Flachsmann AG
C. Eugster, Eugster Polyinfotech

Verein für umweltgerechte Elektrizität - Association pour une électricité respectueuse de l'environnement
Associazione per un'elettricità eocompatibile - Association for environmentally sound electricity