

Biogasanlage für die Vergärung von Destillationsrückständen in Kombination mit der Abwasserreinigung

Bemerkungen

Projekt 28467 Vertrag 68284

Ausgearbeitet durch

Anja Voigtländer, Helmut Vetter

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Schlussbericht August 2001

Auftraggeber:

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

HOLINGER AG
Mellingerstrasse 207
5405 Baden

Autoren:

Anja Voigtländer
Helmut Vetter

Begleitgruppe:

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist alleine der/die Autor/in/en verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch •
www.admin.ch/bfe

Vertrieb:**ENET**

Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

VORWORT

Die vorliegende Schlussbericht entstand im Rahmen einer bei der Abwasservorbehandlungsanlage der POMDOR AG durchgeführten Messkampagne.

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei allen bedanken, die zur Durchführung und zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders erwähnen möchten wir das Bundesamt für Energie, das durch die Bereitstellung der Mittel diese Arbeit ermöglichte. Des weiteren gilt unser Dank dem Betriebsleiter der POMDOR AG Herrn Dr. Bühler, dem Betreuer der Vorbehandlungsanlage Herrn Eberli und dem Klärwärter der ARA Surental Herrn Illi. Mit ihrer Unterstützung und Kooperation konnten die erforderlichen Daten erhoben werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Firma POMDOR AG (früher Fenaco) ist ein Lebensmittelbetrieb, der vor allem Fruchtsäfte und fruchtsaftthaltige Getränke produziert. Anfallende Betriebsabwässer wurden viele Jahre der kommunalen Kläranlage zugeleitet. Die vereinbarte Frachtbegrenzung von 450 kgCSB/d wurde dabei nur gelegentlich überschritten. Aufgrund einer Umstellung der Produktion im Jahr 1997 gelangte verstärkt Abwasser in die Kanalisation, was eine anhaltende Überschreitung der Frachtlimite zur Folge hatte. Technische Massnahmen im Sinne einer Abwasservorbehandlung waren deshalb unbedingt notwendig.

Nach Prüfung der verschiedenen Möglichkeiten zur Frachtreduzierung, entschied sich die Firmenleitung für eine innovative, umweltfreundliche und energiesparende Lösung. Anstatt einer konventionellen aeroben Vorreinigung beschloss man den Bau einer aufwendigeren anaeroben Vorreinigungsanlage für die gemeinsame Reinigung des Abwassers und der Rückstände aus dem industriellen Destillationsprozess. Diese Rückstände wurden bis anhin unter erheblichen Energieeinsatz verdampft. Das Vorhaben wurde in finanzieller Hinsicht durch das Bundesamt für Energie unterstützt.

Um die Tragweite des Projektes besser zu verdeutlichen, wurden bereits im Rahmen der Beantragung von Subventionen die zu erwartenden Einsparungen an elektrischer und an thermischer Energie in Form von Dampf prognostiziert. Diese Werte sollten in der durchgeführten Messkampagne überprüft werden. Neben den energetischen Aspekten sollten auch verfahrenstechnische Fragen, die im Zusammenhang mit der besonderen Verfahrensführung einer kalten Vergärung stehen, untersucht werden.

Die Messungen wurden im Zeitraum von Oktober 2000 bis Juni 2001 durchgeführt.

Danach wurden in der AVAR POMDOR ca. 4'300 m³/a Schlempe entsorgt, wodurch thermische Energie von ca. 990 MWh eingespart werden konnte, da diese Energie zum Eindampfen der Schlempen nicht mehr benötigt wurde.

Zusätzlich konnten durch die Vergärung der Schlempen gemeinsam mit dem betrieblichen Abwasser 180'000 m³/a Biogas produziert werden, wodurch weitere 1'350 MWh an thermischer Energie gewonnen wurden, da benötigtes Öl für die betriebsinterne Dampfproduktion substituiert werden konnte.

Gesamthaft konnten mit der anaeroben Voreinigung 2'340 MWh_{th}/a thermische Energie eingespart werden, wobei die Reserven der Anlage ein Steigerung in den nächsten Jahren ohne weiteres zulassen.

Um auch den verminderten Verbrauch an elektrischer Energie zu bewerten, muss eine theoretische Energiebilanz erstellt werden, die von der heutigen Belastung ausgeht, jedoch die jetzige Abwasservorreinigung nicht berücksichtigt. In diesem Fall würden die Abwasserströme „Schellenrain“ und „Merkur“ ohne Vorbehandlung der kommunalen Kläranlage zugeleitet werden.

Durch die Auswertung der Betriebsdaten der kommunalen Kläranlage konnten spezifische Kennwerte ermittelt werden, die eine Berechnung der benötigten elektrischen Energie für die Belüftung direkt aus der eingeleiteten CSB-Fracht ermöglichen.

Ohne die Vorbehandlung des Abwassers wären 140 MWh an Belüftungsenergie auf der ARA Surental erforderlich gewesen. Im Vergleich dazu sind mit der Abwasservorbehandlung nur noch 30 MWh notwendig. Die Einsparung an Strom für Gebläse auf der kommunalen Kläranlage beträgt 110 MWh/a. Zusätzlich muss die elektrische Energie, die auf Seiten der POMDOR in diesem Bereich benötigt wurde, berücksichtigt werden. Die Gesamtbilanz für elektrische Energie ist dennoch positiv.

Last but not least sind die Auswirkungen auf den Betrieb der kommunalen ARA sehr positiv: Neben den spürbar geringeren Energiekosten im Bereich der Belüftung sind Betriebsprobleme aus der Vergangenheit, die eng in Verbindung mit extremen Stossbelastungen und schlechten Schlammeigenschaften standen, gelöst.

Zusammenfassend konnte die stark positive Energiebilanz, von der in der Projektierungsphase ausgegangen wurde, bestätigt werden.

Darüber hinaus lassen sich aus den Betriebsdaten der anaeroben Abwasservorbehandlungsanlage die folgenden verfahrenstechnischen Ergebnisse zusammenfassen:

- Die festgelegten Frachtlimiten und die garantierten Abbauleistungen werden eingehalten.
- Trotz geringerer und gleichzeitig stark schwankender Abwassertemperatur wird eine sehr hohe Abbauleistung erreicht.
- Die gewählte Verfahrensführung bewirkt einen stabilen und betriebssicheren Abbauprozess, der noch über erhebliche Reserven bezüglich der maximal möglichen Belastung verfügt.

RÉSUMÉE

POMDOR S.A., anciennement Fenaco, est une entreprise agro-alimentaire qui produit des jus de fruits et des boissons à base de fruits. Les eaux usées de l'entreprise étaient jusqu'ici traitées dans une station d'épuration communale, la limite de charge admise (450 kgDCO/j) n'étant que rarement dépassée. Suite à une modification en 1997 du procédé de production, la charge limite de DCO ne peut plus être respectée. Des mesures techniques, soit un prétraitement des eaux usées, sont nécessaires.

Après avoir analysé les différentes possibilités permettant de réduire la charge de pollution, l'entreprise choisit une solution innovatrice. Elle opte pour un prétraitement anaérobie commun des eaux industrielles et des refus de distillation, bien que celui-ci soit plus coûteux qu'un prétraitement aérobie. Les refus de distillation étaient soumis jusqu'ici à une évaporation avec de la vapeur, moyennant une quantité d'énergie conséquente. La solution retenue est intéressante du point de vue écologique, elle permet notamment de réaliser des économies d'énergie. Pour cette raison, le projet a été soutenu financièrement par l'Office Fédéral de l'Énergie.

Lors de la demande de subventions, des prévisions d'économies d'énergie électrique et thermique sont faites. Ces prévisions seront par la suite confirmés par une campagne de mesures. A côté des aspects énergétiques, les aspects techniques du procédé, soit la fermentation à faible température, ont également été étudiés.

La campagne de mesures a été effectuée du mois d'octobre 2000 au mois de juin 2001.

Ainsi, AVAR POMDOR a évacué 4'300 m³ de vinasses de distillerie par année. L'évaporation de celles-ci avec de la vapeur n'étant plus nécessaire, 990 MWh par année ont pu être économisés.

En plus de cela, la fermentation commune des vinasses de distillerie et des eaux industrielles produit 180'000 m³ de biogaz par année. Celui-ci substitue le mazout nécessaire pour la production interne de vapeur, et conduit à un gain d'énergie thermique de 1'350 MWh par année.

Au total 2'340 MWh par année peuvent être économisés grâce au prétraitement anaérobie. L'installation dispose de réserves de capacité suffisantes pour permettre d'augmenter dans les prochaines années les économies d'énergie.

Un bilan énergétique théorique a été établi afin d'évaluer la diminution de la consommation électrique. Ce bilan tient compte des charges actuelles et du prétraitement réalisé sur les effluents de Schellenrain et Merkur, avant qu'ils ne soient dirigés vers la STEP de Surental.

Pour le bilan, des valeurs spécifiques ont été utilisées afin de déterminer l'énergie d'aération nécessaire en fonction de la charge de l'affluent (DCO).

Sans prétraitement, la consommation d'énergie électrique pour l'aération s'élève à 140 MWh par année. En revanche avec prétraitement, celle-ci s'élève à 30 MWh par année. Une économie d'énergie électrique de 110 MWh par année est ainsi possible. En plus de cela, il faut tenir compte de la consommation d'énergie électrique utilisée par POMDOR pour le prétraitement. Le bilan énergétique global d'électricité reste toutefois positif.

Les répercussions sur l'exploitation de la station d'épuration de Surental sont très positives. En plus d'une diminution des coûts d'énergie liés à l'aération, les problèmes d'exploitation du passé, tels que fortes variations de la charge de l'affluent et mauvaise qualité des boues, ne sont plus qu'un mauvais souvenir.

Un bilan d'énergie positif, confirmant les prévisions de la phase d'élaboration du projet, a pu être vérifié.

Enfin, les résultats de la campagne de mesures permettent de tirer les conclusions suivantes concernant les procédés:

- La limite de charge fixée ainsi que les garanties sur les rendements d'épuration peuvent être respectées
- Des températures faibles des eaux usées ainsi que des eaux usées présentant de fortes variations de température n'influencent pas négativement les rendements d'épuration
- Le procédé choisi présente des rendements stables et dispose, si l'on considère la charge maximale admissible, de réserves.

ABSTRACT

POMDOR Ltd. (former Fenaco) is a food-processing company mainly producing fruit juices and beverages containing fruit components. Internal waste water resulting from the production process had been discharged into the municipal waste water treatment plant (WWTP) for many years. The defined load limit for the COD parameter of 450 kgCOD per day had been exceeded only occasionally. Due to a rearrangement of the production-lines an increasing amount of waste water reached the urban sewage system, continuously breaking the load limit in 1997. Technical steps in terms of a new waste water pre-treatment plant (WWPTP) were necessary.

After various options were examined the management decided for an innovative, environmental friendly and energy-saving solution. Instead of a conventional aerobic a more expensive anaerobic pre-treatment plant was preferred. The plant was designed and built for the combined treatment of all internal waste water and the remains of the distilling process (mash), that had been evaporated using a considerable amount of energy. The project was financially supported by the Swiss Federal Department of Energy.

To explain the significant far-reaching consequences of the project the expected savings of electrical and thermal energy (in form of steam) were predicted in the application for the mentioned subsidies.

Beside the energetic aspects issues, that are related to the special process of a "cold" fermentation were investigated.

The measurements were carried out during period of October 2000 to June 2001.

Accordingly 4'300 m³ of mash were disposed and treated in the WWPTP resulting in a thermal energy saving of 990 MWh per year. This energy would have been necessary for the evaporation of the same amount of mash.

Due to the fermentation of the mash and the other internal waste water 180'000 m³ of biogas per year were produced, whereby another 1'350 MWh of thermal energy per year could be gained, which was used for the internal steam production. In that way the equivalent amount of oil was substituted.

In total 2'340 MWh per year an thermal energy could be saved by operation the anaerobic fermentation. The capacity of the plant allows easily a significant rise in loading in the following years.

In order to evaluate the benefits of electrical energy consumption a theoretical energy balance was generated. The balance takes into account today's load situation but presuming there was no pre-treatment plant. In this case the internal waste water from the production lines "Schellenrain" an Merkur" would be discharged into the municipal WWTP without pre-treatment.

By analysing the operating data of the municipal WWTP, specific characteristic values were identified, that allowed a calculation of electrical energy needed for the aeration system on the basis of the COD-inflow to the WWTP.

Without pre-treatment of the waste water 140 MWh per year of energy for the aeration would have been necessary. In comparison today with pre-treatment only 30 MWh/a are consumed. Thus, the savings of energy for blowers on the municipal WWTP were 110 MWh per year. Furthermore the input of electrical energy to the POMDOR Ltd. has to be considered. However the total balance of electrical energy is still positive.

Last but not least the most important advantages for the municipal WWTP are not only the reduced cost for energy but also the significant less operation problems, that were solved by less extreme load peaks and better sludge characteristics.

Summarising the strongly positive balance of total energy (electrical and thermal) which was predicted in an early stage of the project is confirmed.

Additional the following results concerning process engineering can be concluded using the data of the measurements:

- the defined load limits and guaranteed elimination rates are kept without any process problems
- operating the plant with high temperature fluctuation at lower level (compared to a conventional anaerobic plant) do not result in a reduced elimination rate
- the chosen pre-treatment process allows a stable and reliable cleaning performance with enough capacity reserves for the future

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	I
ZUSAMMENFASSUNG	II
RÉSUMÉE	IV
ABSTRACT	VI
INHALTSVERZEICHNIS	VIII
ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	X
1 AUSGANGSLAGE	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Abwasserzusammensetzung	1
1.3 Verschiedene Möglichkeiten der Abwasservorreinigung	2
2 ZIELE DER ARBEIT	4
2.1 Ziele für die Realisierung des Projektes	4
2.2 Ziele der durchgeführten Messkampagne	4
3 LÖSUNGSWEG UND DARSTELLUNG DER LÖSUNG DER EINZELNEN TEILAUFGABEN	6
3.1 Projektrealisierung	6
3.1.1 Vorbehandlung	6
3.1.2 Rechenanlage und Pufferbecken	7
3.1.3 Biogasanlage	7
3.1.4 Abwassernachbelüftung	9
3.1.5 Gasverwertung	9
3.1.6 Chemikaliendosierung	10
3.1.7 Abluftbehandlung	10
3.1.8 Elektro-, Steuer- und Regelungstechnik	11
3.2 Durchführung der Messkampagne	12
3.2.1 Allgemeines Vorgehen	12
3.2.2 Realisierung der Messkampagne	12
3.2.3 Auswertung der Betriebsdaten der ARA Surental	14
3.2.4 Auswertung früherer Betriebsdaten der POMDOR AG	15
4 AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE	16

4.1 Energetische Beurteilung	16
4.1.1 Energiebilanz der Messkampagne 2000/2001	16
4.1.2 Theoretische Energiebilanz der Messkampagne 2000/2001 ohne die AVAR der Pomdor AG	18
4.1.3 Schlussfolgerungen aus energetischer Sicht	18
4.2 Verfahrenstechnische Beurteilung	21
4.2.1 CSB-Abbauleistung und Einhaltung der geforderten Frachtlimit	21
4.2.2 Einfluss der Temperatur auf die Abbauleistung	23
4.2.3 Schlussfolgerungen aus verfahrenstechnischer Sicht	24
5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	25
6 LITERATURVERZEICHNIS	26
7 ANHANG	27

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1	Vereinfachtes Verfahrensfliessbild	6
Abbildung 2	Aussenansicht der Anaerobiereaktoren	8
Abbildung 3	Prinzipskizze der Messpunkte	13
Abbildung 4	Massenbilanz der biologischen Stufe ARA Surental, 1997	14
Abbildung 5	Energiebilanz Abwasservorreinigung POMDOR AG und Teilbereich Belüftung ARA Surental	16
Abbildung 6	CSB-Massenbilanz Abwasservorreinigung POMDOR AG	17
Abbildung 7	Energiebilanz für den heutigen Belastungszustand, jedoch ohne die AVAR	18
Abbildung 8	Gesamtbilanz der thermischen Energie AVAR Pomdor	19
Abbildung 9	Gesamtbilanz der elektrischen Energie	20
Abbildung 10	Zeitlicher Verlauf der relativen und absoluten Abbauleistung	21
Abbildung 11	Abhängigkeit der relativen und absoluten Abbauleistung von der Gesamtbelastung	22
Abbildung 12	Darstellung der $BSB_{5,abgesetzt}$ -Ablaufsrachten und der entsprechenden Frachtlimite	22
Abbildung 13	Darstellung der GUS Ablaufsrachten und der entsprechenden Frachtlimite	23
Abbildung 14	Zeitlicher Temperaturverlauf im Zufluss der Reaktoren	23
Tabelle 1	Übersicht der durchgeführten Messungen	13
Tabelle 2	Spezifische Kennwerte ARA Surental	15
Tabelle 3	Zusammenfassung der Energieverbräuche	19

1 AUSGANGSLAGE

1.1 ALLGEMEINES

Die Firma POMDOR AG (früher Fenaco) ist ein Lebensmittelbetrieb, der vor allem Fruchtsäfte und fruchtsafthaltige Getränke produziert, inklusive der Verarbeitung der verschiedensten Obstsorten, der Spirituosendestillerie und mehreren getrennten Fülllinien.

Die Produktionsanlagen der POMDOR AG in Sursee leiteten ihre Abwässer seit vielen Jahren in die kommunale Kläranlage Surental ein. Als Frachtgrenze wurde dabei ein Wert von 450 kg CSB/d eingesetzt. In früheren Jahren wurde diese Frachtgrenze in der Regel eingehalten respektive unterschritten. Lediglich in der Mostereisaison kam es vor, dass zeitweise höhere Frachten abgeleitet wurden.

Im Sinne einer Optimierung der Fabrikation bei der POMDOR AG wurden die bestehenden Flaschenfülllinien verschiedener Standort in Sursee konzentriert. Um die dadurch entstandenen Produktionserhöhungen verarbeiten zu können, wurde ein neuer Anlagenkomplex erstellt, der Anfang 1997 in Betrieb genommen wurde. In der Folge wurden erhöhte Abwasserfrachten gemessen. Seither überschritten die Abwasserfrachten die Limite nahezu dauernd, wobei im Sommer 1997 Spitzenwerte bis über den 10-fachen Wert der Frachtlimite von 450 kg CSB/d gemessen wurden.

1.2 ABWASSERZUSAMMENSETZUNG

Um ein mögliches Entsorgungskonzept für die POMDOR AG entwickeln zu können, mussten zunächst Abklärungen über die quantitative und qualitative Zusammensetzung der in den einzelnen Betriebszweigen anfallenden Abwässer durchgeführt werden. Danach konnten folgende Hauptströme den einzelnen Betriebszweigen zugeordnet werden. Die Betriebsabwässer der POMDOR AG gliedern sich in die beiden Abwässerströme „Merkur“ und „Schellenrain“, die nach den gleichnamigen Produktionsstrassen benannt sind.

Die **Merkur**-Abwässer fallen bei der Getränkeaufbereitung in im Herbst bei Reinigung des Obstes und als Tropf- und Reinigungswasser der Obstpressen an. Weiters stark belastetes Abwasser entsteht durch die Reinigung von Lagertanks in allen Produktionszweigen. Durchschnittlich fallen in dieser Produktionsstrasse täglich 200 m³ Abwasser an mit einer mittleren Fracht von 300 kgCSB_{abgesetzt}/d¹. 95 % aller Messwerte liegen unterhalb 500 m³/d¹ und 1'150 kgCSB_{abgesetzt}/d¹.

Die Hauptverschmutzung entsteht durch **Schlempen**, die bei der Destillation anfallen. Bis zum Bau der Abwasservorreinigung wurden diese eingedampft und die verbleibenden Konzentrate getrennt entsorgt. Obwohl die durchschnittliche Schlempenmenge mit 12 m³/d¹ gegenüber den anderen Abwasserströmen nahezu vernachlässigbar ist, entspricht deren CSB-Fracht mit 660 kgCSB_{abgesetzt}/d¹ 80 % der Summe der Frachten aus den Strassen Merkur und Schellenrain. 95 % aller Messwerte der Schlempenabwässer liegen unterhalb 33 m³/d¹ und 1'900 kgCSB_{abgesetzt}/d¹.

¹ Die angegebenen Werte beziehen sich auf die aktuellen Messungen während der durchgeführten Messkampagne.

Im Bereich der Produktionsstrasse **Schellenrain** werden die produzierten Getränke abgefüllt. Abwässer fallen hier bei der Flaschenreinigung, –befüllung und –pasteurisierung an. Eine weitere Quelle sind Bandschmiermittel mit denen Förderbänder besprüht werden. Die mittlere Abwassermenge in diesem Produktionsbereich beträgt $300 \text{ m}^3/\text{d}^1$, wobei mit einer mittleren Fracht von $525 \text{ kgCSB}_{\text{abgesetzt}}/\text{d}^1$ gerechnet werden kann. 95 % aller Messwerte liegen unterhalb $725 \text{ m}^3/\text{d}^1$ und $1'450 \text{ kgCSB}_{\text{abgesetzt}}/\text{d}^1$.

1.3 VERSCHIEDENE MÖGLICHKEITEN DER ABWASSERVORREINIGUNG

Im Herbst 1997 wurde durch die Firma HOLINGER AG eine Studie erstellt, deren Ziele darin bestanden,

1. den Verbrauch an Gemeindewasser zu reduzieren (z.B. durch den Ersatz von Trinkwasser durch gebrauchtes Kühlwasser)
2. die abgeleiteten Abwassermengen (z.B. durch Versickern von nicht verschmutzten Wässern) zu verringern
3. die Stofffrachten, welche ins Abwasser gelangen, ebenfalls zu reduzieren
4. technische Massnahmen zur Reduktion der Belastung der abgeleiteten Abwässer unter die Grenzbelastung zu untersuchen.

Trotz der diversen Massnahmen an der Quelle konnten die Abwasserfrachten aber nicht so weit reduziert werden, dass die Frachtlimiten eingehalten werden konnten. Technische Massnahmen im Sinne einer Abwasservorbehandlung waren deshalb notwendig.

In oben genannter Studie wurden nach einer entsprechenden Vorevaluation die folgenden 3 Varianten untersucht:

Variante 1: Abwasservorbehandlung ohne Mitbehandlung der Schlempen

Die Abwässer der Seite Schellenrain werden vollumfänglich der Abwasservorreinigung zugeführt. Auf der Seite Merkur werden die Brüden der beiden Eindampfungsanlagen gefasst und in die Abwasservorreinigungsanlage eingeleitet, die Bereiche der Obstwäsche und –presse werden ebenfalls mit eingebunden. Für diesen Fall wurde eine aerobe Abwasserbehandlung nach dem Wirbelbettverfahren evaluiert.

Variante 2: Abwasservorbehandlung mit Mitbehandlung der Schlempen

Die Abwasseraufteilung erfolgt analog Variante 1. Die Schlempen werden aber nicht weiter eingedampft, sondern der Abwasservorreinigungsanlage zugeführt. Für die daraus resultierenden hoch belasteten Abwässer bot sich eine anaerobe Abwasservorreinigung mit Gasverwertung an. Auf diese Weise kann einerseits die bisher benötigte Energie zur Eindampfung der Schlempen eingespart werden, andererseits kann das produzierte Biogas zur Erzeugung von betrieblich benötigtem Wasserdampf genutzt werden. Fossile Brennstoffe zur Dampfproduktion können somit substituiert werden. Zusätzlich kann Energie für den aeroben Abbau auf der Kläranlage Surental eingespart werden.

Variante 3: Abwasservorbehandlung mit externer Entsorgung der Schlempen

Die Abwasseraufteilung erfolgt analog Variante 1. Die Schlempen werden aber nicht weiter eingedampft, sondern extern entsorgt. In diesem Fall können die Frachten der Brüden, die bei der Eindampfung entstehen, erheblich reduziert werden. Ähnlich der Variante 1 wurde für diese Variante eine aerobe Abwasserbehandlung mit dem Wirbelbettverfahren gewählt.

Diese 3 Varianten wurden nach den folgenden Kriterien beurteilt:

1. Jahreskosten der Abwasserentsorgung
2. Sicherheit des Entsorgungsweges
3. Entwicklung der Kosten
4. Entwicklung der Frachten
5. Gesamtökologische Betrachtungen

Massgebend für die POMDOR AG waren hauptsächlich die Jahreskosten, welche sich aus den Betriebskosten und den kapitalisierten Investitionskosten zusammensetzen.

Danach bestand die kostengünstigste Lösung der Frachtreduktion darin, das Abwasser einer aeroben biologischen Vorreinigung zu unterziehen (Variante 1). Die gesamt-energetische Situation würde dadurch nicht wesentlich geändert, da der Energiebedarf für die Belüftung und somit für den aeroben Abbau der Abwasserinhaltsstoffe nun bei der POMDOR AG und nicht mehr bei der Kläranlage Surental anfallen würde.

Gesamthaft wäre eine gemeinsame Behandlung der Abwässer und der Schlempen in einer Biogasanlage die ökologisch und insbesondere energetisch beste Lösung. Eine derartige Anlage ist ökonomisch jedoch nur bedingt rentabel. Aus diesem Grund wurden für dieses Projekt Subventionen beim Bundesamt für Energie beantragt und bewilligt.

Es handelt sich dabei um die Anwendung einer innovativen Technik (Biogas), die erstmals für die Vergärung von Destillationsrückständen in Kombination mit Abwasserreinigung eingesetzt wurde. Im Gegensatz zu einer konventionellen Anaerobanlage, welche eine Temperatur von 35 °C vorschreibt, ist die Anlage ausgelegt, um kalt gefahren zu werden, das heisst bei einer Abwassertemperatur von ca. 20 °C.

2 ZIELE DER ARBEIT

2.1 ZIELE FÜR DIE REALISIERUNG DES PROJEKTES

Arbeitsziel für die Realisierung des Projektes war eine umweltfreundliche und energiesparende Lösung zu erarbeiten und zu verwirklichen, die allen Bedürfnissen der POMDOR AG gerecht wird. Die aus energetischer Sicht sinnvolle Lösung stellte eine anaerobe Vorreinigungsanlage dar, mit der das Abwasser und die Rückstände aus dem industriellen Destillationsprozess, die bisher unter erheblichem Energieeinsatz verdampft wurden, gemeinsam gereinigt werden können. Die finanzielle Unterstützung des Bundesamtes für Energie ermöglichte die Realisierung einer innovativen Lösung mit „kaltem“ Vergärungsprozess, mit stark positiver Energiebilanz sowie Substitution erheblicher Mengen fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energieträger.

Für die Realisierung des Projektes wurden die folgenden Ziele angestrebt und in der Verfahrensführung und Steuerung, sowie in der Auswahl der verwendeten Materialien und der Ausführung berücksichtigt.

1. Einhalten der Grenzwerte der Abwasserfrachten
2. Vermeidung von Lärm- und Geruchsemissionen
3. Einhaltung aller gesetzlichen Vorschriften und Bestimmungen (SUVA, KIGA etc.)
4. Einhaltung der betriebsinternen Standards der POMDOR AG
5. Hohe Betriebssicherheit und Elastizität des Verfahrens
6. Einfaches zweckmässiges Betriebskonzept
7. Hohe Unfallsicherheit in Betrieb und Instandhaltung
8. Grosse Wartungs- und Benutzerfreundlichkeit
9. Optimale Energienutzung und minimaler Energiebedarf
10. Minimale Investitions- und Betriebskosten
11. Fertigstellung der Anlage bis Ende 1999

2.2 ZIELE DER DURCHGEFÜHRTEN MESSKAMPAGNE

Um die Tragweite des Projektes besser zu verdeutlichen, wurden bereits im Rahmen der Gesuchstellung die zu erwartenden Einsparungen an elektrischer und an thermischer Energie in Form von Dampf prognostiziert. Danach wurden für eine Belastung der Anlage im Ausbauziel die folgenden Werte geschätzt:

- Einsparung von 875 MWh_{th}/a fossil erzeugter Energie (Dampf für Schlemmeneindampfung)
- Einsparung von 280 MWh_e/a elektrischer Energie (Strom für Gebläse auf der kommunalen Kläranlage)
- **Zusätzlich** Substitution von Heizöl durch Biogas für die Produktion von 1'400 MWh_{th}/a Dampf (für industrielle Prozesse)

Diese Werte beruhen auf theoretischen Berechnungen, bei denen Annahmen getroffen werden mussten, die auf allgemeinen Erfahrungswerten von vergleichbaren Anlagen beruhen, jedoch im spezifischen Fall überprüft werden müssen. Zu diesem Zweck müssen im Rahmen einer Messkampagne die tatsächlichen Energiebilanzen für die Abwasservorreinigungsanlage der POMDOR AG und für den Teilbereich der biologischen Reinigungsstufe auf der kommunalen Kläranlage erstellt werden. Nur so ist eine Quantifizierung der eingesparten Energie möglich.

Neben den energetischen Aspekten sollen in der Messkampagne auch verfahrenstechnische Fragen, die im Zusammenhang mit der besonderen Verfahrensführung einer kalten Vergärung stehen, untersucht werden. Zusammenfassend lassen sich die folgenden Ziele der Messkampagne formulieren:

- Ermittlung der tatsächlichen Einsparungen an elektrischer und thermischer Energie
- Ermittlung der tatsächlichen Abbauleistungen und Ablauffrachten sowie Vergleich mit den in der Auslegung der Anlage garantierten Werte unter Berücksichtigung des Einflussfaktors Temperatur

3 LÖSWEG UND DARSTELLUNG DER LÖSUNG DER EINZELNEN TEILAUFGABEN

3.1 PROJEKTREALISIERUNG

Um zu verdeutlichen inwiefern die unter 2.1 Ziele für die Realisierung des Projektes gesetzten Ziel verwirklicht wurden, sind im Folgenden die einzelnen Verfahrensstufen detailliert beschrieben und in dem vereinfachten Verfahrensfliessbild (Abbildung 1) dargestellt.

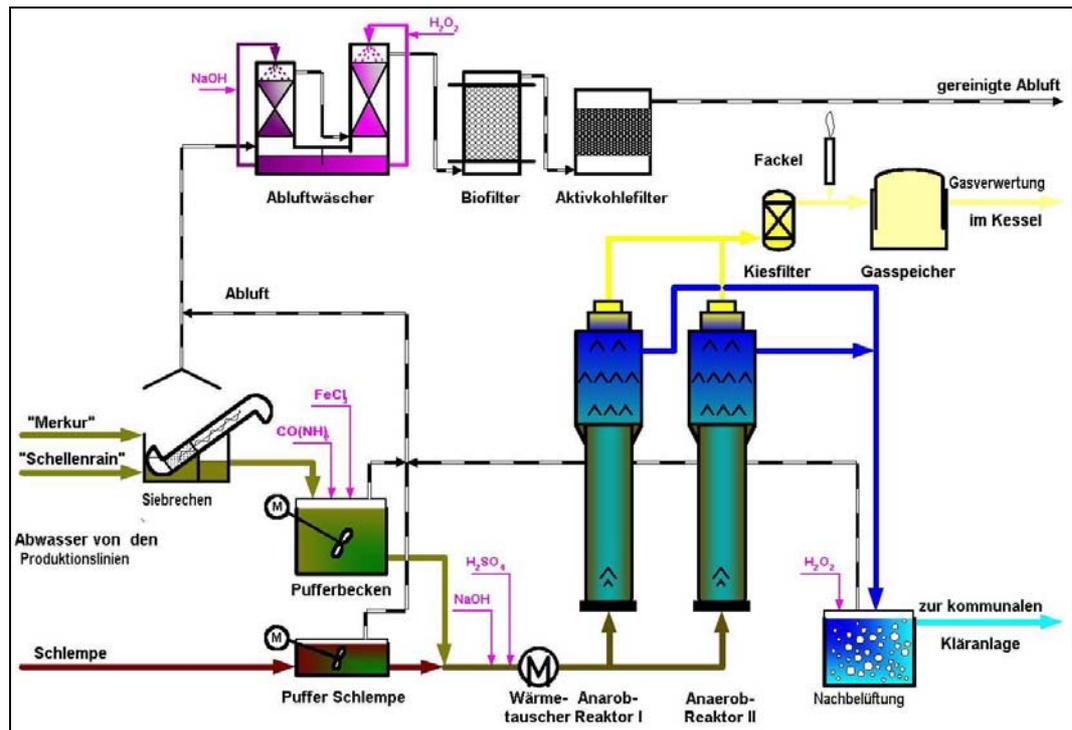


Abbildung 1 Vereinfachtes Verfahrensfliessbild

3.1.1 VORBEHANDLUNG

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind im Verfahrensfliessbild die einzelnen Projektbestandteile zur Vorbehandlung der verschiedenen Abwasserströme nicht enthalten. Der Vollständigkeit halber werden sie im Folgenden kurz zusammengefasst:

Schlempenwasser

Das weitgehend von den Feststoffen befreite Schlempenwasser gelangt in eine bestehende Pumpvorlage und wird von dort in das neue Schlempenpufferbecken auf dem Abwasservorreinigungsareal gefördert.

Abwasserfassung Schellenrain

Wenig belastete Abwässer aus der Produktion der Seite Schellenrain werden vom bestehenden Abwassernetz abgetrennt und an der Neutralisation vorbei über die Abwasserkontrollstation in die Kanalisation abgelassen.

Das Neutralisationsbecken wird als solches nicht mehr benützt. Das Abwasser wird mit Pumpen niveauabhängig zur Abwasservorreinigungsanlage (AVRA) gefördert.

Abwasserfassung Merkur

Auf der Merkurseite wird das Abwasser aus dem Bereich der Obstwäsche und der Obstpressen separat gefasst und in einen Pumpensumpf geführt. Aus diesem Pumpensumpf fördern zwei Abwasserpumpen das aus diesem Bereich anfallende Abwasser in das Pufferbecken der AVRA. Ebenfalls zur AVRA werden die Bründencondensate und das Abwasser aus dem Bereich der „Produktionshalle“ gepumpt.

3.1.2 RECHENANLAGE UND PUFFERBECKEN

Bevor die zufließenden Abwässer aus den Fabrikationsarealen Schellenrain und Merkur in das Pufferbecken eingeleitet werden, müssen grobe Bestandteile entfernt werden, um Verstopfungen in den Reaktoreinbauten und Armaturen zu vermeiden. Dazu wird das Abwasser über einen Siebrechen geführt.

Das Pufferbecken ist so ausgelegt, dass es einen gleichmässigen und stabilen Betrieb der nachfolgenden Anlageteile ermöglicht. Es wird so betrieben, dass es am Abend weitgehend gefüllt ist und über Nacht vollständig entleert wird. Das im Becken installierte Rührwerk verhindert mögliche Absetzungen. Für anfallende Schlemmenwässer existiert ebenfalls ein Zwischenspeicher mit einer hydraulischen Aufenthaltszeit von ca. 1 - 2 Tagen.

3.1.3 BIOGASANLAGE

Von den beiden Becken erfolgt die Beschickung der Reaktoren, pH-Wert Schwankungen werden zuvor durch die Zugabe von Natronlauge oder Schwefelsäure ausgeglichen.

Das Abwasser fällt auf einem unterschiedlichen Temperaturniveau an. Die minimale mittlere Abwassertemperatur beträgt 20 °C. Um einen möglichst optimalen biologischen Abbau sicherzustellen, kann das Abwasser auf eine Temperatur von 25 °C erwärmt werden. Diese Erwärmung erfolgt nach dem Pufferbecken, indem das Abwasser mittels Pumpen über einen Spiralwärmetauscher geführt wird.

Die Biogasanlage besteht aus zwei parallelen Biogashochreaktoren (siehe Abbildung 2). Der Abbau der organischen Stoffe erfolgt durch einen Anaerobschlamm, welcher in Pelletform vorliegt. Die Durchmischung des Reaktors wird nur zu einem geringen Teil durch den Zulauf des Abwassers sichergestellt. Die massgebende Umwälzleistung wird durch das gebildete Biogas gewährleistet. Dieses schafft im Reaktor einen Mammutpumpeneffekt, welcher hilft, eine intensive Durchmischung des Reaktors zu erreichen.



Abbildung 2 Aussenansicht der Anaerobiereaktoren

Der Zulauf wird über ein Verteilersystem im Reaktor eingebracht und mit dem Pelletschlamm und der internen Rezirkulation vermischt. Der untere Reaktorteil enthält ein expandiertes Granulatschlammbett, in welchem der grösste Teil des organischen Kohlenstoffs in Biogas umgewandelt wird. Das in diesem Teil erzeugte Gas wird in einem unteren Abscheidemodul gefasst und speist eine Mammutpumpe, die das Abwasser-/Schlammgemisch in den Entgasungsbehälter im Reaktorkopf fördert. Hier wird das Gas abgeschieden und in den Gasbehälter abgeführt. Das Abwasser-/Schlammgemisch gelangt über ein konzentrisches Fallrohr wieder in die Zulaufverteilzone am Reaktorboden.

Der Ablauf aus dem unteren Reaktorteil wird im schwach belasteten oberen Teil nachbehandelt. Dieser obere Reaktorteil arbeitet wie ein konventioneller UASB-Reaktor (UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Insgesamt haben derartige Hochreaktoren gegenüber konventionellen UASB-Reaktoren folgende Vorteile:

- Wesentlich geringere Grundfläche
- Verbesserte Toleranz bezüglich Schwebstoffen
- Markant erhöhte CSB-Raumbelastung
- Integrierte Rezirkulation
- Selbstinstellende Rezirkulationsrate
- Geringerer Bedarf an Neutralisationschemikalien

3.1.4 ABWASSERNACHBELÜFTUNG

Das aus dem Anaerobiereaktor abfließende Abwasser weist einen deutlichen Gehalt an gelöstem Schwefelwasserstoff (H_2S) auf. Dieser würde entgasen und führt zu entsprechenden Geruchsbelastungen führen. Dieser Tatsache kann dadurch entgegengewirkt werden, dass das Abwasser belüftet wird und so das H_2S oxidiert und ausgestrippt wird. Gleichzeitig wird durch den Sauerstoffeintrag das Abwasser in seiner Beschaffenheit so verändert, dass es auch später in der Kanalisation nicht mehr zur Bildung von H_2S neigt. Eine Geruchsbildung im Verlauf des Kanalisationsnetzes kann so ebenso verhindert werden wie ein Korrodieren der Kanalisationsleitung.

3.1.5 GASVERWERTUNG

Das auf dem Bioreaktor anfallende Gas wird in einen Kissengasometer geführt. Dieser Kissengasometer dient als Ausgleich für kurzzeitige Spitzen im Gasanfall. Vom Gasometer wird das Gas mittels einem Druckerhöhungsgebläse in das Kesselhaus gefördert.

Im Kesselhaus wurde ein bestehender Kessel mit einem neuen Brenner ausgerüstet. Der Kessel erhält die erste Versorgungspriorität. So kann sichergestellt werden, dass auch am Wochenende anfallendes Gas komplett genutzt werden kann.

Ist die Gasverwertung im Kessel gestört, so kann das Gas über eine Notfackel abgebrannt werden. Diese Notfackel ist auf dem Dach installiert.

3.1.6 CHEMIKALIENDOSIERUNG

Natronlaugedosierung

Die Natronlauge wird in erster Linie für den Ausgleich von pH-Wert Schwankungen im Zulauf zu den Reaktoren benötigt. Der gewünschte pH-Wert für die Regulierung wird in Abhängigkeit des pH-Wertes im Ablauf der Reaktoren gesteuert. Auf diese Weise kann einer drohenden Versäuerung der Reaktoren durch die verstärkte Zugabe von Natronlauge automatisch entgegengewirkt werden.

In der Abluft ist ein gewisser Gehalt an Schwefelwasserstoff vorhanden. Dieser Schwefelwasserstoff wird mit Natronlauge aus der Abluft ausgewaschen. Entsprechend ist im Abluftwäscher eine pH-Regulierung eingebaut, mit welcher der optimale pH-Wert für die H₂S-Auswaschung eingestellt werden kann.

Wasserstoffperoxid

Das Wasserstoffperoxid wird benötigt, um den Luftwäscher bei der Absorption von H₂S zu unterstützen.

Schwefelsäuredosierung

Schwefelsäure wird nur in Ausnahmesituationen benötigt, wenn zum Beispiel Waschlaugen abgelassen werden. Im Normalfall wird das zufließende alkalische Abwasser durch die in der Vorversäuerung stattfindenden biologischen Reaktionen neutralisiert.

Harnstoffdosierung

Der Harnstoff wird in 50 kg-Säcken angeliefert und in einer Lösestation aufgelöst. Er dient zur Versorgung der Biologie mit Stickstoff. Die Dosierung erfolgt proportional zur Abwassermenge.

Eisendosierung

Eisen sowie weitere Metalle dienen den Mikroorganismen als Spurenelemente. Die Eisendosierung erfolgt direkt ab Chemotainer. In die Chemotainer wird je nach Bedarf eine Mixtur von Spurenelementen zugegeben. Die Dosiermengen sind sehr gering. Die Dosierung erfolgt proportional zur Abwassermenge.

3.1.7 ABLUFTBEHANDLUNG

Die Abluft entsteht im Wesentlichen im Nachbelüftungsbecken, aber auch das Pufferbecken, das Schlempenwasserpufferbecken sowie der Rechen werden über die Abluftanlage abgesaugt. Der wesentliche Inhaltsstoff, welcher zur Geruchsbildung neigt, ist das H₂S. Andere geruchsrelevante Stoffe sind von untergeordneter Bedeutung.

Das H₂S wird in einem alkalisch betriebenen, oxidativen Luftwäscher aus der Abluft ausgewaschen. Durch den erhöhten pH-Wert wird das H₂S aus der Luft ausgewaschen. Das Wasserstoffperoxid oxidiert das H₂S zum Thiosulfat, Sulfit und Sulfat. Damit wird das H₂S aus dem Reaktionsgleichgewicht entfernt. Das verbrauchte Waschwasser wird in das Nachbelüftungsbecken abgeführt.

Die weitgehend H₂S-freie Abluft wird über die zweite Behandlungsstufe, einen in einem Container untergebrachten Biofilter, geführt. In diesem Biofilter wird sowohl das restliche H₂S wie auch weitere Geruchsstoffe abgebaut. Die gesamte Abluftanlage wird im Unterdruck betrieben. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Leckagen zum Ausströmen geruchsbelasteter Luft führen. Die Abluftventilatoren sind im Gebläseraum untergebracht, um Geräuschemissionen zu vermeiden. Die letzte Verfahrensstufe in der Abluftbehandlung ist ein Aktivkohlefilter, welcher ausschliesslich als Sicherheitsstufe („Polzeifilter“) dient.

3.1.8 ELEKTRO-, STEUER- UND REGELUNGSTECHNIK

Die Elektroschemata wurden für die gesamte Anlage nach einem einheitlichen Konzept erstellt. Sie umfassen die Messtechnik, die Schaltanlage und die Elektroinstallationen der ganzen Anlage. Die Steuerung wird in einer zentralen Schaltanlage realisiert. Als Steuerungsprodukt wird eine Siemens S7-300 mit einer seriellen Schnittstelle und einem Ethernetanschluss eingesetzt.

Grundlagen für die Steuerung bilden die folgenden Vorgaben, sie werden in ein gesamthafes Konzept integriert und ermöglichen so einen optimalen Betrieb der Anlage:

- Sicherheitsrelevante Informationen (Mensch und Maschine, Ex-Angaben, Notaus-Konzepte)
- Nenndaten der Motoren (Leistungsbedarf, Motordaten im Detail)
- Nenndaten der vorgesehenen Messtechnik, inkl. Einbauvorschriften
- Liste der Aggregate (Messungen, Motoren, Schieber)
- Bedienkonzept der Anlage
- Funktionsbeschrieb

Die Steuerung der Anlage kann im Automatikbetrieb erfolgen, wobei alle Sicherheiten wie z.B. Niveau, Trockenlaufschutz, Drucküberwachung und Störungskontrollen aktiv sind. Alle Aggregate können über Vorortschalter im Handbetrieb gesteuert werden. In diesem Zustand sind nur die für den Personenschutz notwendigen Sicherheitsfunktionen aktiv.

Mit dem PC als Visualisierungssystem können interessante Lösungen für den Betrieb realisiert werden. Die Bedienung erfolgt über Maus und Tastatur.

3.2 DURCHFÜHRUNG DER MESSKAMPAGNE

3.2.1 ALLGEMEINES VORGEHEN

Ziel der durchgeführten Messkampagne war es, die prognostizierten Werte für die Energieeinsparung genau zu quantifizieren. Zusätzlich sollten Aussagen über die Reinigungsleistung der Abwasservorreinigung getroffen werden. Dazu wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Erstellung einer aktuellen Energiebilanz der Abwasservorreinigung der POMDOR AG und für den Teilbereich der biologischen Reinigungsstufe der ARA Surental
 - Erfassung des Verbrauchs an elektrischer Energie für die AVRA
 - Erfassung der produzierten und verwerteten Gasmenge
 - Durchführung von Gasanalysen zur Bestimmung des Heizwertes des Gases
 - **Kontrolle:** Die Plausibilität der Ergebnisse kann durch eine vollständige CSB-Massenbilanz überprüft werden
 - Ermittlung der für den aeroben Abbau der Restverschmutzung benötigten elektrischen Energie unter Auswertung der Betriebsdaten der ARA Surental, Bestimmung der folgenden spezifischer Kennwerte
 - Mittlerer Ausnützungskoeffizient [gCSB/gCSB]
 - CSB-Abbauleistung [%]
 - Spezifischer Energiebedarf für den Sauerstoffeintrag unter Betriebsbedingungen [kWh/kgO₂]
2. Erstellung einer Energiebilanz für die POMDOR AG und den Teilbereich der biologischen Reinigungsstufe der ARA Surental für die heutige Situation, jedoch unter Annahme, dass eine Abwasservorbehandlung nicht existiert
3. Vergleich der beiden Bilanzen und Bestimmung der tatsächlichen Energieeinsparung

3.2.2 REALISIERUNG DER MESSKAMPAGNE

Zusammenfassend ergeben sich für die Messkampagne die in Tabelle 1 aufgelisteten Messungen. Zur besseren Übersicht sind die einzelnen Messstellen in der Prinzipskizze gemäss Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 1 Übersicht der durchgeführten Messungen

Messstelle	Art der Messung	Häufigkeit der Messung
Schlempenwasser	CSB _{abgesetzt} CSB _{total} Durchfluss	24h-Mischprobe, täglich 24h-Mischprobe, nach Bedarf Online-Messung, täglich
Schellenrain	CSB _{abgesetzt} CSB _{total} Durchfluss	24h-Mischprobe, täglich 24h-Mischprobe, nach Bedarf Online-Messung, täglich
Merkur	CSB _{abgesetzt} CSB _{total} Durchfluss	24h-Mischprobe, täglich 24h-Mischprobe, nach Bedarf Online-Messung, täglich
Zufluss zu den Reaktoren	Durchfluss je Reaktor Temperatur	Online-Messung, täglich Online-Messung, täglich
Ablauf	CSB _{abgesetzt} BSB _{5,abgesetzt} CSB _{total} GUS Durchfluss	24h-Mischprobe, täglich 24h-Mischprobe, täglich 24h-Mischprobe, nach Bedarf 24h-Mischprobe, täglich Online-Messung, täglich
Gasproduktion	Gasanalyse Kohlendioxidgehalt Mengenmessung	Stichprobe, nach Bedarf Stichprobe, nach Bedarf Online-Messung, täglich
Gasverwertung	Mengenmessung	Online-Messung, täglich
Energieverbrauch AVAR POMDOR AG	Stromzähler	Ablese, monatlich

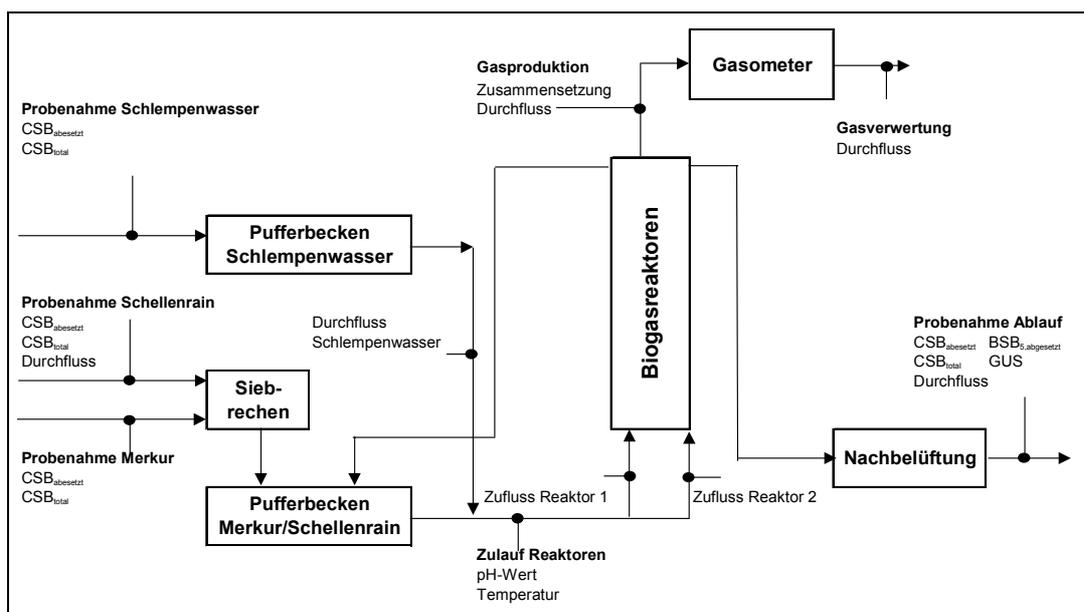


Abbildung 3 Prinzipskizze der Messpunkte

Die Messungen wurden im Zeitraum von Oktober 2000 bis Juni 2001 durchgeführt, die einzelnen Werte sind im Anhang beigefügt. Alle Analysen wurden vom Labor der POMDOR AG durchgeführt. Zur Überprüfung wurden zu Beginn der Messkampagne Vergleichsmessungen (Schnelltest – Standardverfahren) veranlasst, deren Ergebnisse ebenfalls im Anhang beigefügt sind. Signifikante Abweichungen konnten nicht festgestellt werden.

Folgende Messmethoden wurden verwendet:

CSB	Dr. Lange Standardtests
GUS	Filtration mit Filter 0,45 µm
Gaszusammensetzung	gaschromatographische Bestimmung, Labor des SVGW

Bei den Online-Messungen sind für alle Flüssigkeiten induktive Durchflussmengenmesser der Firma Endress+Hauser installiert, bei den Gasmessungen handelt es sich um Fabrikate der Firma Bachofen.

3.2.3 AUSWERTUNG DER BETRIEBSDATEN DER ARA SURENTAL

Für die Erstellung einer Energiebilanz ist es notwendig zu ermitteln, wieviel Energie für den aeroben Abbau des absetzbaren CSB² der POMDOR AG auf der ARA Surental benötigt wurde.

Dazu wurde anhand der Betriebsdaten der ARA Surental eine Bilanz (Abbildung 4) aufgestellt, um den Gesamtsauerstoffbedarf zu ermitteln und anteilig die Belüftungsenergie zu bestimmen, die allein für den Abbau CSB der POMDOR AG notwendig war.

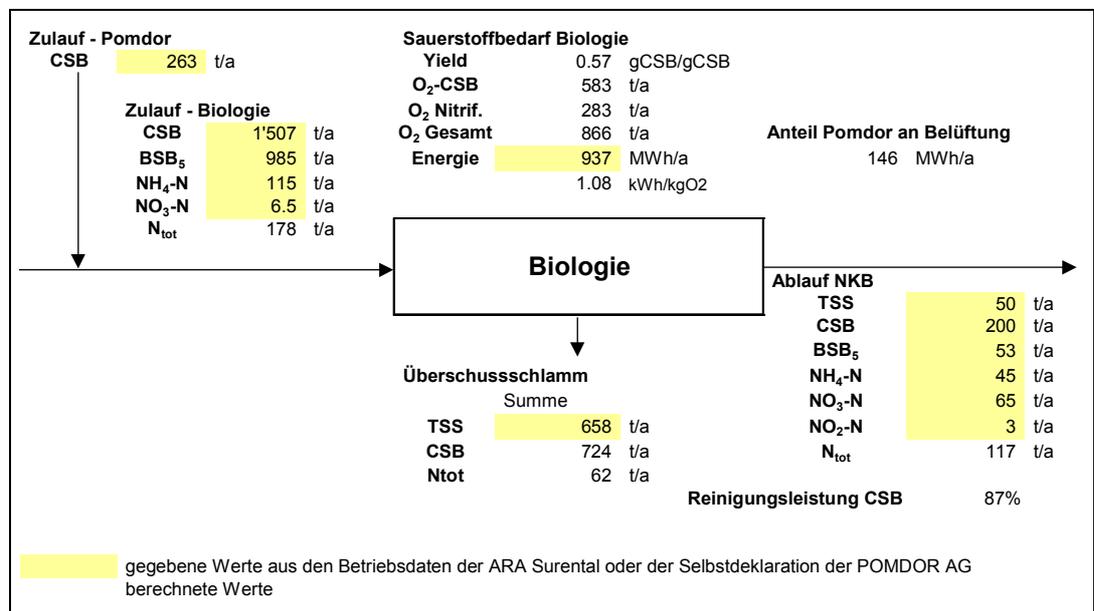


Abbildung 4 Massenbilanz der biologischen Stufe ARA Surental, 1997

² Nur der nicht absetzbare CSB ist für die Bestimmung der Belüftungsenergie relevant, da sich grobe Bestandteile in der Vorklärung absetzen und als Primärschlamm dem System entzogen werden.

Zur Bilanzierung wurde das Jahr 1997 herangezogen, da es noch vor dem Ausbau der ARA Surental liegt. In den darauffolgenden Jahren wurde sowohl das Belüftungssystem der Anlage komplett umgestellt als auch eine neue Verfahrensführung gewählt, wodurch sich eine Bilanzierung als schwierig erwies.

Im Jahr 1997 wurden seitens der POMDOR AG 263 t CSB_{abgesetzt} der ARA Surental zugeführt, das entspricht 17% der gesamten in der Biologie abgebauten CSB-Fracht. 146 MWh/a wurden als Belüftungsenergie benötigt, dies entspricht 16% des Gesamtenergiebedarfs der Belüftung.

Nach oben stehender Bilanz konnten die folgenden spezifischen Kennwerte ermittelt werden (Tabelle 2).

Tabelle 2 Spezifische Kennwerte ARA Surental

Kennwert	Kurzbeschreibung	Ermittelter Wert
Ausnutzungskoeffizient (Yield) Y'	Überschussschlamm gebildet in Gramm pro Gramm CSB abgebaut	0,57 gCSB/gCSB
CSB-Abbauleistung η_{CSB}	Verhältnis CSB im Ablauf zu CSB im Zulauf	87 %
Spezifischer Energiebedarf $1/\text{OE}_{\text{Betrieb}}$	Energie in kWh die für den Eintrag von 1 kg Sauerstoff unter Betriebsbedingungen benötigt wird (Reziproker Wert des Sauerstofftrags)	1,08 kWh/kgO ₂

Diese Werte entsprechen denen vergleichbarer Anlagen mit ähnlichem Ausbaustand und Verfahrensführung. Ein Energieeintrag von 1.08 kWh/kgO₂ entspricht einem mittleren bis guten Wert für Oberflächenbelüfter.

Der mittlere Verbrauch an elektrischer Energie für den aeroben Abbau des eingeleiteten CSB lässt sich aus den ermittelten Kennwerten wie folgt berechnen:

Gleichung 1 Bestimmung der benötigten Belüftungsenergie für den aeroben Abbau von abgesetzten CSB auf der ARA Surental

$$E_{\text{elektrisch}} = \eta_{\text{CSB}} \cdot \text{CSB}_{\text{abgesetzt}} \cdot Y' \cdot \frac{1}{\text{OE}_{\text{Betrieb}}} \quad [\text{kWh}]$$

3.2.4 AUSWERTUNG FRÜHERER BETRIEBSDATEN DER POMDOR AG

Aus den Betriebsdaten der POMDOR AG konnten die folgenden für die energetische Bilanzierung wichtigen Daten ermittelt werden:

- Der mittlere Energiebedarf für die Behandlung und Entsorgung der anfallenden Abwässer betrug bis zum Bau der Abwasservorreinigung ca. 4'200 kWh/a.
- Zur Eindampfung von einem m³-Schlempe waren 232 kWh erforderlich.

4 AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

4.1 ENERGETISCHE BEURTEILUNG

4.1.1 ENERGIEBILANZ DER MESSKAMPAGNE 2000/2001

Ausgehend von den während der Messkampagne ermittelten Werten und mit Hilfe der in Abschnitt 3.2.3 und 3.2.4 bestimmten Kennzahlen, konnte die erforderliche Energiebilanz (siehe Abbildung 5) aufgestellt werden. Um mit den ursprünglichen geschätzten Werten vergleichbare Zahlen zu erhalten, wurden die Ergebnisse der 9-monatigen Messkampagne auf ein ganzes Jahr extrapoliert.

Danach wurden während der Messkampagne in der AVAR POMDOR ca. 3'200 m³ Schlempe entsorgt, dies entspricht einer jährlichen Menge von ca. 4'300 m³ Schlempe. Dadurch wurde thermische Energie von ca. 990 MWh pro Jahr eingespart, da diese Energie zum Eindampfen der Schlemphen nicht mehr benötigt wurde. Zusätzlich konnten bei der Vergärung der Schlemphen gemeinsam mit dem Abwässerströmen Schellenrain und Merkur 180'000 m³/a Biogas produziert werden, wodurch weitere 1'350 MWh an thermischer Energie gewonnen wurden, da benötigtes Öl für die betriebsinterne Dampfproduktion substituiert werden konnte.

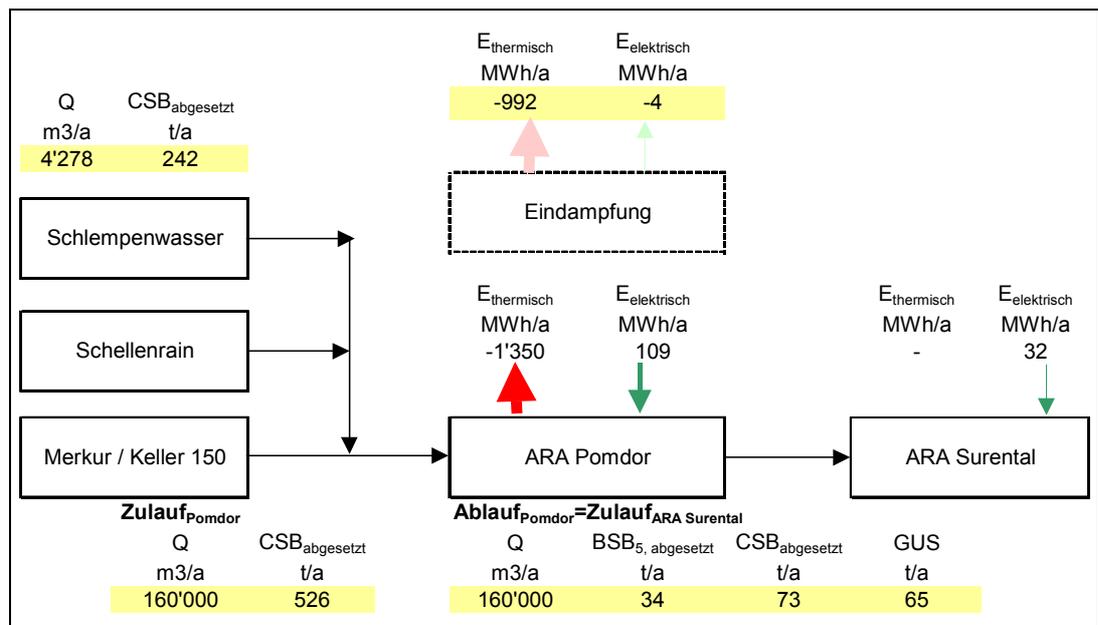


Abbildung 5 Energiebilanz Abwasservorreinigung POMDOR AG und Teilbereich Belüftung ARA Surental

An elektrischer Energie wurden (hochgerechnet auf ein volles Jahr) 109 MWh auf Seiten Pomdor verbraucht, während für die aerobe Nachbehandlung nur noch 32 MWh zur Belüftung benötigt wurden.

Zur Überprüfung der Messergebnisse wurde eine CSB-Massenbilanz für die AVAR Pomdor erstellt (siehe Abbildung 6).

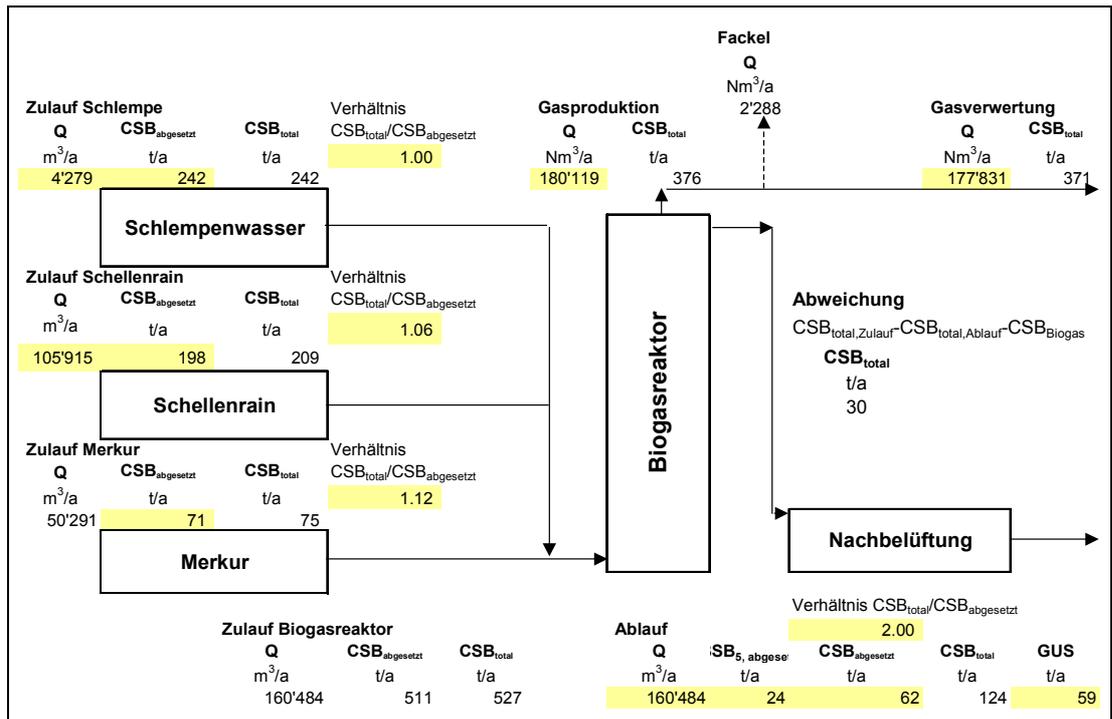


Abbildung 6 CSB-Massenbilanz Abwasservorreinigung POMDOR AG

Wesentlich für die Bestimmung der aus der Gasproduktion ermittelten Energieeinsparung ist einerseits die Gaszusammensetzung, die durch gaschromatographische Analysen des Schweizerischen Vereines des Gas- und Wasserfaches (SVGW) durchgeführt wurde, andererseits ist die gemessene Gasmenge direkt proportional zur errechneten Energie. Eine genau Überprüfung der Mengemessung ist deshalb unbedingt erforderlich.

Während der durchgeführten Messkampagne erfolgte eine ständige Kontrolle durch den Vergleich der Produktionsgasmessung mit der Mengemessung des zur Verwertung abgeleiteten Gases. Zwischen den beiden Messungen befindet sich ausschliesslich die Gasfackel als einziger Verbraucher. Da die Gasfackel nur zu Testzwecken in Betrieb genommen wurde, müssen die Jahressummen der beiden Messungen nahezu identisch sein, was in der obenstehenden Bilanz der Fall ist.

Um die Möglichkeit auszuschliessen, dass beide Gasmessungen gleich falsch messen, ist es erforderlich, eine CSB-Massenbilanz aufzustellen. Anhand des aus den Gasanalysen bekannten Methangehaltes lässt sich die im Biogas enthaltene CSB-Fracht berechnen. Da in einer Anaerobie Energie durch die Umwandlung von Kohlenstoffverbindungen in Methan gewonnen wird, muss die Differenz zwischen dem totalen CSB im Zulauf und dem totalen CSB im Ablauf gleich dem im Biogas enthaltenen CSB sein bzw. die Gesamtbilanz muss gleich Null sein ($CSB_{total,Zulauf} - CSB_{total,Ablauf} - CSB_{Biogas} = 0$). Dieser Wert ist in der Bilanz als Abweichung gekennzeichnet und beträgt 30 t CSB pro Jahr, bezogen auf den CSB im Zulauf entspricht diese Differenz 6 %. Dieser Wert liegt innerhalb der Messgenauigkeiten der verschiedenen Messgrössen, systematische Fehler in den Messungen können nahezu ausgeschlossen werden.

4.1.2

THEORETISCHE ENERGIEBILANZ DER MESSKAMPAGNE 2000/2001 OHNE DIE AVAR DER POMDOR AG

Die Einsparungen im Bereich der thermischen Energie konnten anhand der tatsächlichen Energiebilanzen ermittelt werden. Um auch den verminderten Verbrauch an elektrischer Energie zu bewerten, muss eine theoretische Energiebilanz erstellt werden, die von der heutigen Belastung ausgeht, jedoch die jetzige Abwasservorreinigung nicht berücksichtigt. In diesem Fall würden sämtliche Schlemmen wie vor dem Bau der Abwasserreinigung eingedampft werden. Die Abwasserströme Schellenrain und Merkur würden ohne Vorbehandlung der ARA Surental zugeleitet werden.

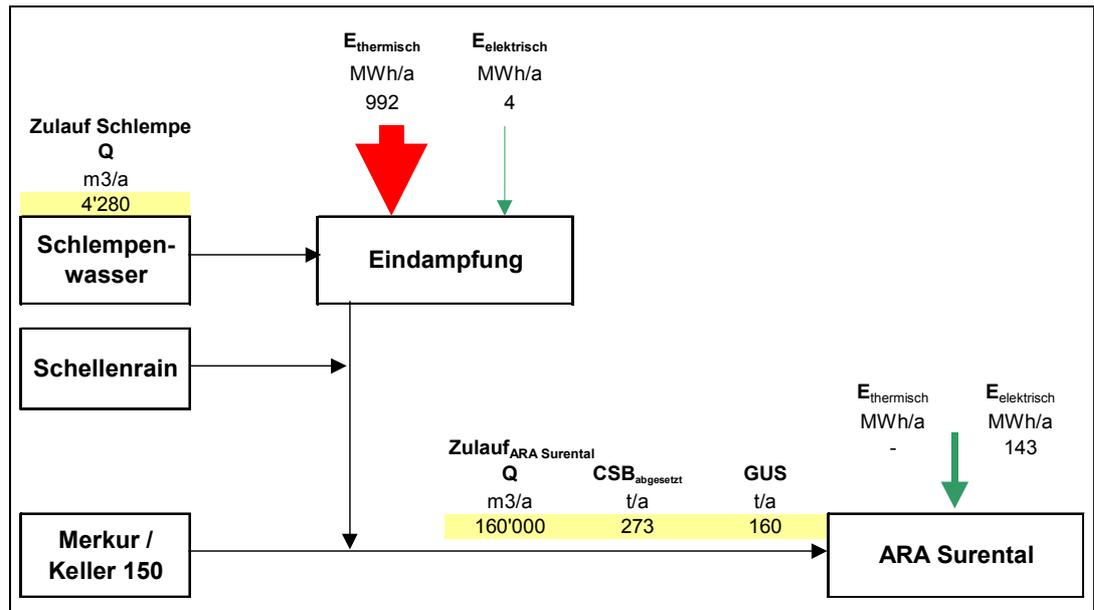


Abbildung 7 Energiebilanz für den heutigen Belastungszustand, jedoch ohne die AVAR

In diesem Fall wären auf Seiten der POMDOR AG 992 MWh an thermischer Energie in Form von Wasserdampf notwendig gewesen, während auf der ARA Surental 143 MWh für die aerobe Behandlung verbraucht worden wären. (Vorausgesetzt, die ARA Surental würde über das gleiche Belüftungssystem verfügen wie 1997).

4.1.3

SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS ENERGETISCHER SICHT

Mit Hilfe der erstellten Energiebilanzen und unter Auswertung der Betriebsdaten der ARA Surental konnten die in den Projektzielen (2.2) prognostizierten Werte bestätigt werden.

Tabelle 3 Zusammenfassung der Energieverbräuche

		Energieverbrauch		Differenz vor Ausbau - nach Ausbau	Einsparung an Energie
		ohne Vorreinigung	mit Vorreinigung		
Elektrisch	Pomdor AG	4 MWh/a	109 MWh/a	-105 MWh/a	
	ARA Surental	143 MWh/a	32 MWh/a	111 MWh/a	6 MWh/a
Thermisch	Eindampfung der Schlempen	992 MWh/a		992 MWh/a	
	Biogasproduktion		-1'350 MWh/a	1'350 MWh/a	2'342 MWh/a

Die Einsparung von 992 MWh_{th}/a an fossil erzeugter Energie (Dampf für Schlempeneindampfung) entspricht dem prognostizierten Wert von 875 MWh_{th}/a. Auch der Substitution von Heizöl durch erzeugtes Biogas für die Produktion von 1'350 MWh_{th}/a Dampf für industrielle Prozesse entspricht sehr genau der Prognose von 1'400 MWh_{th}/a, obwohl bei der Abschätzung der Energieeinsparung von einer wesentlich höheren Belastung der AVAR durch die Abwässerteilströme Schellenrain und Merkur ausgegangen wurde. Die geringere Belastung aus den genannten Teilströmen wurde kompensiert durch eine höhere Konzentration der Schlempenabwässer und eine bessere Abbauleistung der Gesamtanlage. Gesamthaft konnten mit der anaeroben Vorreinigung 2'342 MWh_{th}/a (siehe Abbildung 8) eingespart werden, wobei die Reserven der Anlage eine Steigerung in den nächsten Jahren ohne weiteres zulassen.

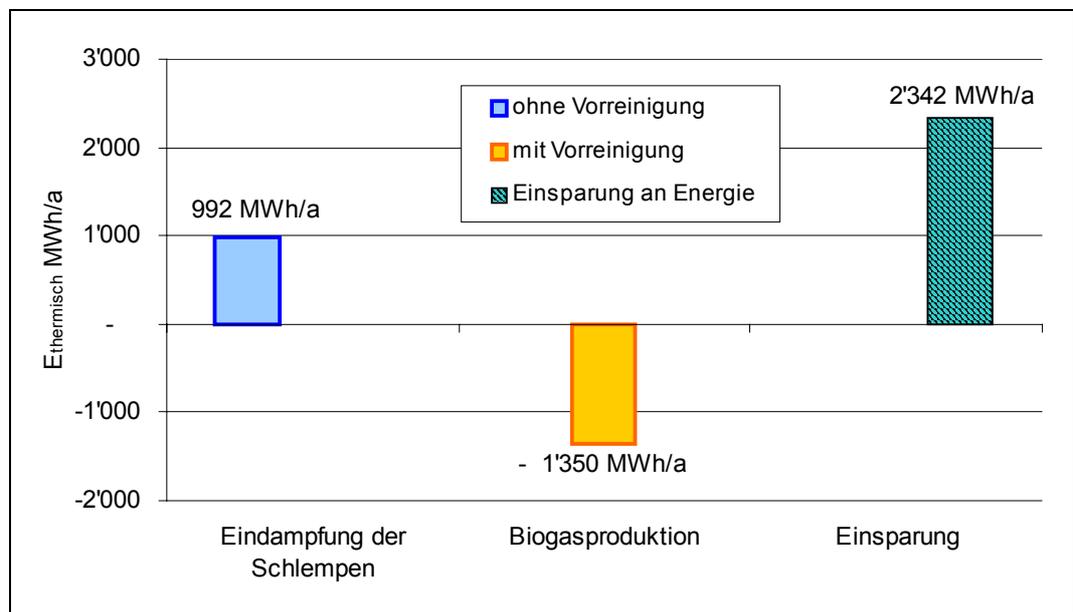


Abbildung 8 Gesamtbilanz der thermischen Energie AVAR Pomdor

Anders gestalte sich die Situation für die Einsparung an elektrischer Energie. Die hierfür geschätzte Einsparung von 280 MWh_e/a an Strom für Gebläse auf der kommunalen Kläranlage konnte nicht vollständig erreicht werden. Bei einer genaueren Überprüfung konnten lediglich ca. die Hälfte, nämlich 111 MWh_e/a, an Einsparungen auf der ARA Surental ermittelt werden. Diese Abweichung entstand einerseits durch die bereits erwähnte Überschätzung der Frachten aus den Abwasserströmen Schellenrain und Merkur und andererseits wurde das bereits in die Jahre gekommene Belüftungssystem der ARA in der Prognose schlechter bewertet und ein höherer Betrag für den Energiebedarf pro kg Sauerstoffeintrag angenommen. Dennoch sind die Auswirkungen auf den Betrieb der ARA Surental sehr positiv. Neben den spürbar geringeren Energiekosten im Bereich der Belüftung sind die Betriebsprobleme der Vergangenheit, die eng in Verbindung mit extremen Stossbelastungen und schlechten Schlammeigenschaften standen, gelöst.

Bei einer Gesamtbilanz der zur Behandlung der Betriebsabwässer erforderlichen elektrischen Energie müssen die Aufwendungen, die für den Betrieb der AVAR bei der POMDOR AG entstehen mit berücksichtigt werden. Hier wurden die tatsächlichen Aufwendungen von 109 MWh_e/a in der ursprünglichen Schätzungen von 70 MWh_e/a unterschätzt. Aufwendungen für die elektrische Energie entstehen vor allem durch verschiedene Pumpvorgänge, wobei das Abwasser in die entsprechenden Pufferbecken gefördert werden und von da aus der Reaktor beschickt werden muss. Allein die Überwindung der geodätischen Höhe macht einen beträchtlichen Teil der Energie aus. Zusätzlich hat sich während des Betriebs der Anlage ergeben, dass ein gewisser Anteil an externer Rezirkulation für den Betrieb der Anlage von Vorteil ist, so dass kurzfristige Abschaltungen vermieden werden können, wodurch zusätzliche Pumpkosten entstehen. Gesamthaft ist die Bilanz der elektrischen Energie dennoch positiv. In Abbildung 9 sind die jeweiligen Aufwendungen für elektrische Energie der ARA Surental und der POMDOR AG vor und nach dem Bau der Abwasservorreinigung dargestellt. Die Differenz kennzeichnet die entsprechenden Mehr- oder Mindermengen je Anlagenbetreiber, während unter Einsparung die resultierende Gesamteinsparung errechnet wurde.

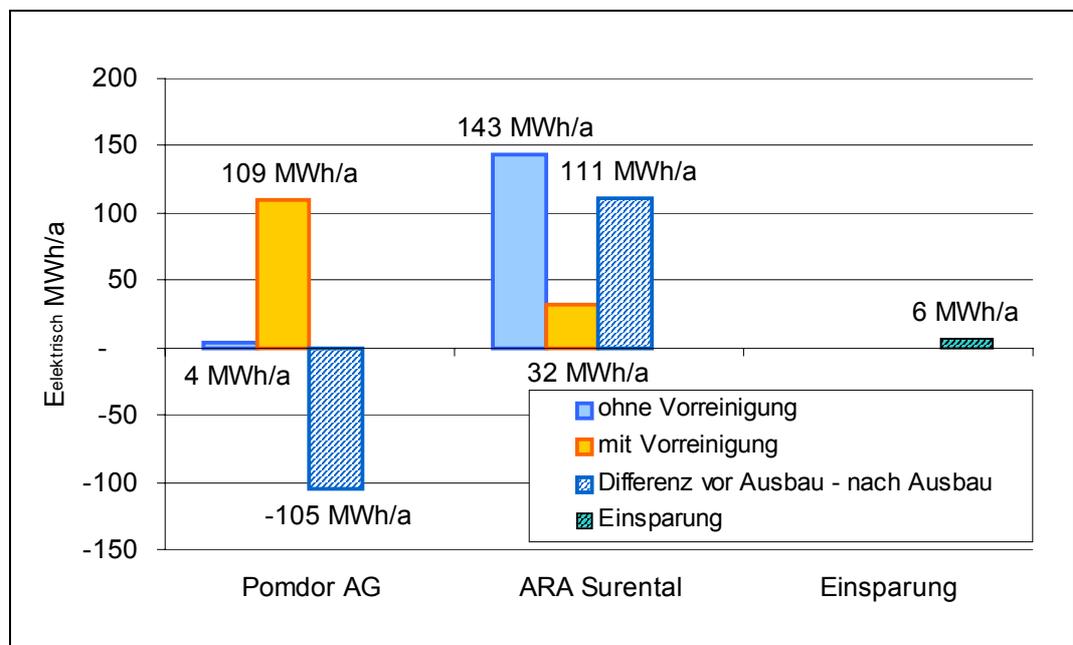


Abbildung 9 Gesamtbilanz der elektrischen Energie

Zusammenfassend konnte die stark positive Energiebilanz, von der in der Projektierungsphase ausgegangen wurde, bestätigt werden.

4.2 VERFAHRENSTECHNISCHE BEURTEILUNG

4.2.1 CSB-ABBAULEISTUNG UND EINHALTUNG DER GEFORDERTEN FRACHTLIMITE

In der gewässerschutzrechtlichen Projektgenehmigung für die Abwasservorbehandlungsanlage des Amtes für Umweltschutz Kt. Luzern wurden Frachtlimiten festgelegt. Danach dürfen folgende Werte nicht überschritten werden:

- von Mai bis November 250 kg BSB₅/d (abgesetzte Probe)
- von Dezember bis April 185 kg BSB₅/d (nicht mehr als 5'500kg/Mt.)
- absetzbare Stoffe 350 kg/d

Wird die Anlage mit der in den Auslegungsfrachten festgelegten maximalen Belastung beschickt, so ergeben sich unter Einhaltung der Frachtlimiten Abbauleistungen von 80 % bis 90 % für den Parameter BSB_{5,abgesetzt}. Zusätzlich wurde vom Lieferanten ein 80%iger Abbau des abgesetzten CSB garantiert.

Aus untenstehender Grafik (Abbildung 10) sind die erzielten Abbauleistungen bei gleichzeitiger Darstellung der Gesamtbelastung ersichtlich.

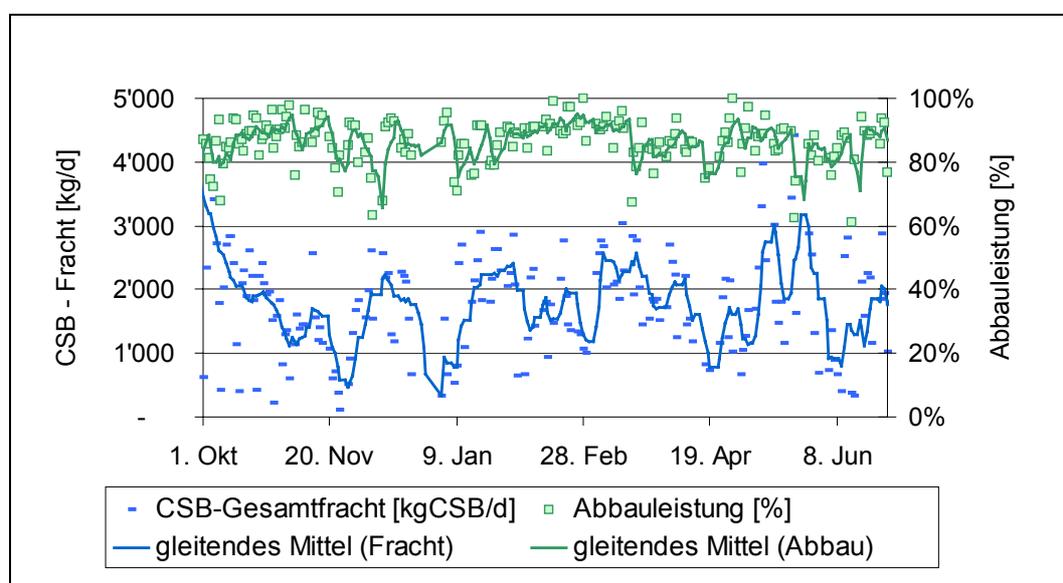


Abbildung 10 Zeitlicher Verlauf der relativen und absoluten Abbauleistung

Die mittlere monatliche Belastung schwankte zwischen ca. 1'000 kgCSB_{abgesetzt} und ca. 2'000 kgCSB_{abgesetzt} und lag damit bedeutend unterhalb der mittleren Belastung im Ausbauziel. Die maximale Belastung von 4'825 kgCSB_{abgesetzt} wurde nur sehr selten erreicht. Auswirkungen im Sinne einer verminderten Abbauleistung während hoher Belastungsphasen konnten nicht festgestellt werden. Hierzu ist die Analyse einer grösseren Anzahl von Messwerten vor allem im hohen Belastungsbereich erforderlich. Für diesen Fall ist zu erwarten, dass sich die in Abbildung 11 dargestellte Trendkurve für die Abhängigkeit der absoluten Abbauleistung von der Gesamtbelastung im oberen Bereich abflacht.

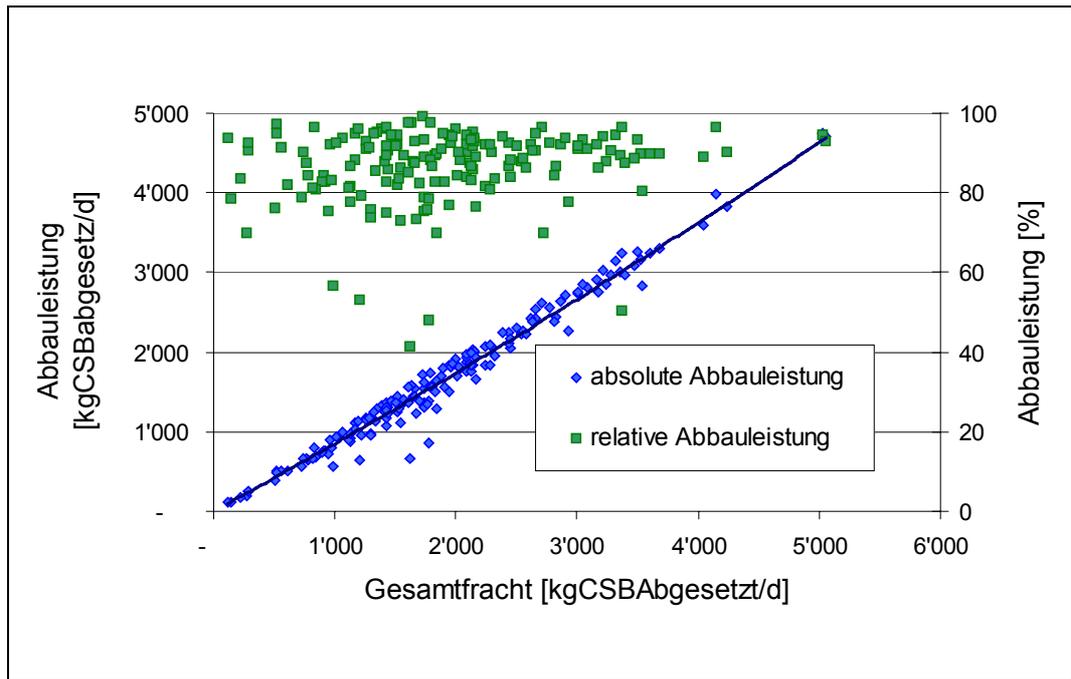


Abbildung 11 Abhängigkeit der relativen und absoluten Abbauleistung von der Gesamtbelastung

Wesentlich aus Sicht des Gewässerschutzes ist die Einhaltung der festgelegten Frachtlimite, da die ständige Überschreitung der Limite vor dem Bau der Anlage Betriebsprobleme auf der kommunalen Anlage verursachte, die einen starken Einfluss auf den sensiblen Vorfluter Sure haben.

Zusätzlich ist zu beachten, dass sich im Kanalisationsnetz vor der ARA Surental mehrere Regenentlastungen befinden, so dass im Fall eines Regenereignisses ohne die Vorbehandlung des Abwassers eine erhöhte Fracht in den Vorfluter gelangt.

Aus Abbildung 12 wird deutlich, dass eine Einhaltung des Frachtlimites für BSB5 kein Problem darstellt. Die kurzzeitige Spitze im Februar ist auf Versuche zurückzuführen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Anlage in Bezug auf eine stärkere Belastung untersucht wurde.

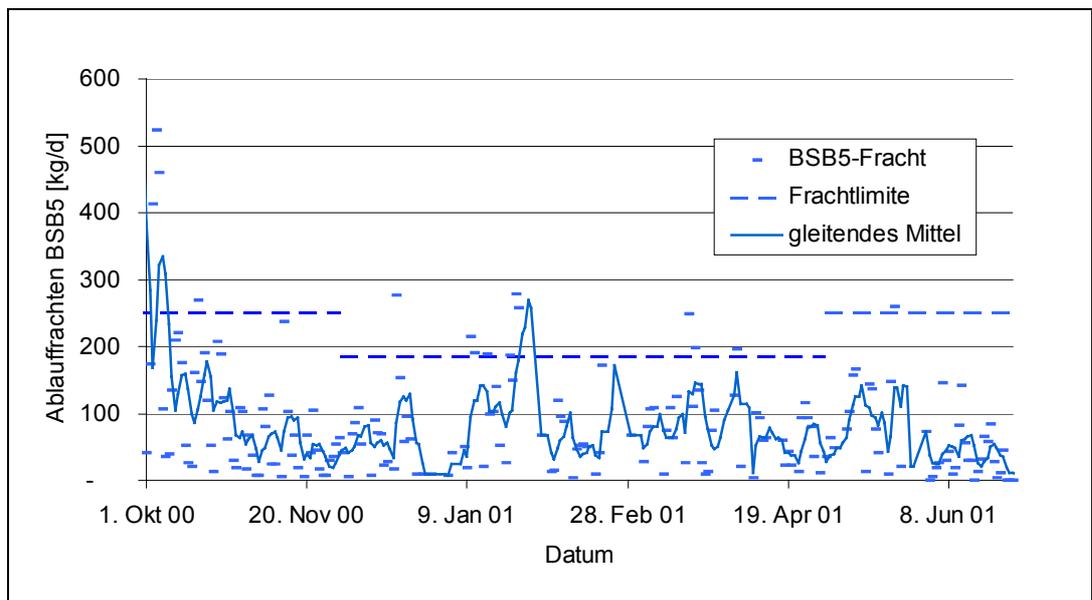


Abbildung 12 Darstellung der BSB_{5,abgesetzt}-Ablauffrachten und der entsprechenden Frachtlimite

In den letzten 9 Monaten wurden die Limiten bezüglich GUS bei 80 % der gemessenen Werte eingehalten (Abbildung 13). Ursache für die auftretenden Überschreitungen ist vor allem die stark schwankende hydraulische Beschickung. Bei einer schwachen Belastung lagern sich die ungelösten Stoffe im Reaktor ab und werden bei entsprechend stärkerem Durchsatz wieder ausgespült.

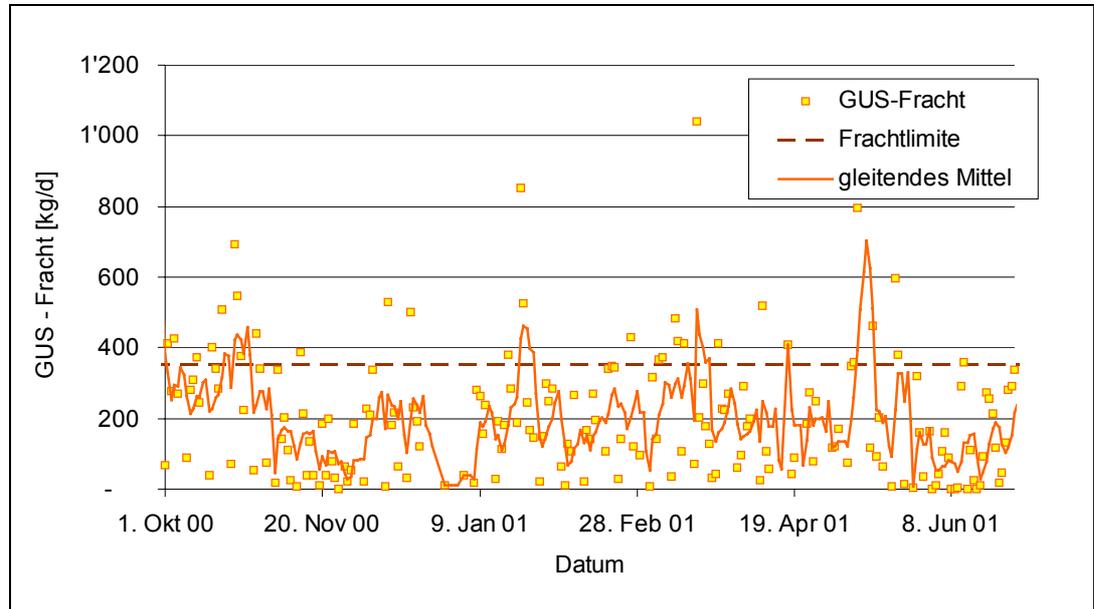


Abbildung 13 Darstellung der GUS Ablauffrachten und der entsprechenden Frachtlimite

4.2.2 EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE ABBAULEISTUNG

Die optimale Temperatur für eine anaerobe Abwasserbehandlung beträgt ca. 35 °C, wobei die Leistungsfähigkeit der Mikroorganismen begünstigt wird, wenn eine möglichst konstante Temperatur gewährleistet ist. Bereits Schwankungen von wenigen Grad Celsius können kurzzeitige Hemmungen hervorrufen. Die Schwankungen der mittleren Tagestemperaturen von aufeinanderfolgenden Tagen betragen bis zu 5 °C, innerhalb weniger Tage sogar bis 10°C (siehe Abbildung 14), ohne dass Auswirkungen auf die Abbauleistung deutlich wurden.

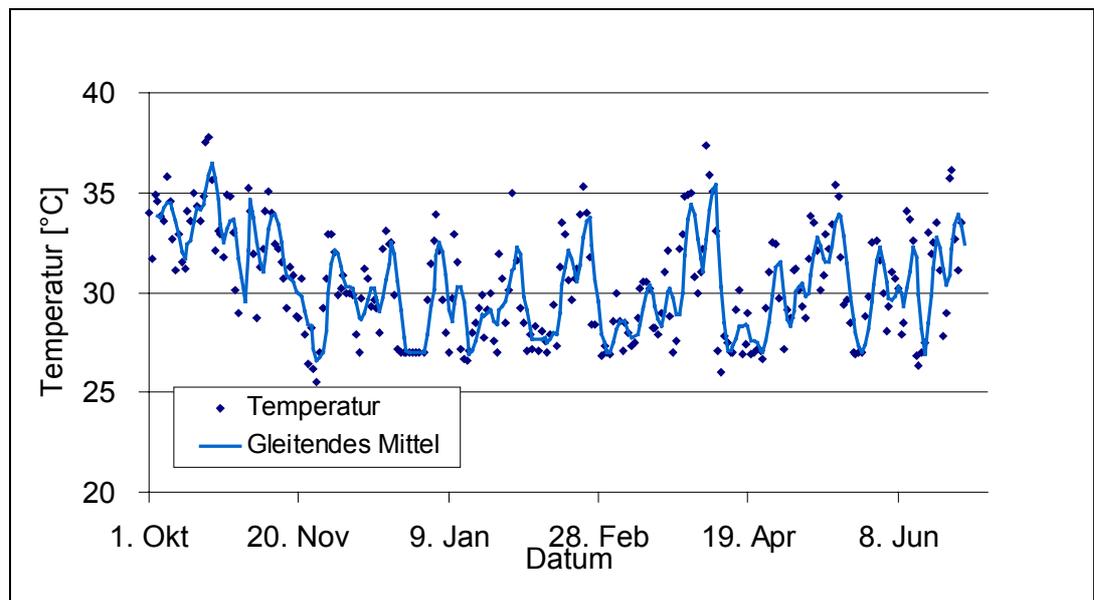


Abbildung 14 Zeitlicher Temperaturverlauf im Zufluss der Reaktoren

Die mittleren Monatstemperaturen pendelten zwischen 29 °C und 33 °C und lagen somit unterhalb der optimalen Abwassertemperatur. Niedrigere Temperaturen konnten aus betrieblichen Gründen nicht erreicht werden, da das Abwasser aus den Produktionsprozessen oft in höheren Temperaturen anfällt. Im Pufferbecken erfolgt, noch bevor das Abwasser den Reaktoren zugeführt wird, eine Angleichung der Temperatur einerseits durch Mischungsprozesse und andererseits durch die mit der Vorversäuerung verbundenen thermischen Reaktionen. Abwassertemperaturen von unter 25 °C wurden somit nicht erreicht.

Eine Steigerung der Abbauleistung mit zunehmender Temperatur konnte aus den Messungen nicht eindeutig abgeleitet werden. Ähnlich der Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Reaktoren in Abhängigkeit von der Belastung liegen hierfür nicht ausreichend Messwerte vor, da die betrieblichen Randbedingungen nicht gegeben sind.

4.2.3 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS VERFAHRENSTECHNISCHER SICHT

Aus den Resultaten der Messkampagne lassen sich die folgenden verfahrenstechnischen Ergebnisse zusammenfassen:

- Die festgelegten Frachtlimiten und die garantierten Abbauleistungen werden eingehalten
- Der Betrieb der Anlage bei einer geringeren, stark schwankenden Abwassertemperatur hat keine nachgewiesene Reduktion der Abbauleistung zur Folge
- Die gewählte Verfahrensführung bewirkt einen stabilen Abbauprozess, der noch über Reserven bezüglich der maximal möglichen Belastung verfügt.

5

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzung	Erläuterung
anaerob	kein gelöster, aber auch kein chemisch gebundener, für Bakterien verfügbarer Sauerstoff im Abwasser vorhanden
anoxisch	kein gelöster Sauerstoff im Abwasser vorhanden
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AVAR	Abwasservorreinigungsanlage
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf während 5 Tagen; ist ein Mass für die Konzentration an abbaubaren Schmutzstoffen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf; ist ein Mass für die gesamten, oxidierbaren Schmutzstoffe
E _{elektrisch}	Verbrauch an elektrischer Energie
E _{thermisch}	Verbrauch an thermischer Energie (Dampf)
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998
GUS	Gesamte ungelöste Stoffe
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
KIGA	Kantonales Amt für Industrie, Gewerbe und Arbeit
MID	Magnetisch Induktive Durchflussmessung
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff; reduzierter Stickstoff; stammt im Abwasser normalerweise aus Fäkalien, kann unter bestimmten Bedingungen das fischgiftige Ammoniak (\Rightarrow NH ₃) freisetzen
Nitrifikation	Umwandlung von reduziertem Stickstoff (\Rightarrow NH ₄ /NH ₃) in oxidierten Stickstoff (\Rightarrow NO ₃); dabei ist die Bildung von Nitrit (\Rightarrow NO ₂) möglich
NKB	Nachklärbecken
NO ₂ -N	Nitritstickstoff; starkes Fischgift; Zwischenprodukt bei der \Rightarrow Nitrifikation
NO ₃ -N	Nitratstickstoff; Endprodukt der \Rightarrow Nitrifikation
O ₂	Sauerstoff
OE _{Betrieb}	Sauerstofftrag unter Betriebsbedingungen
Q	Durchflussmenge, bezogen auf Abwasser oder Gas
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SUVA	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
TSS	Trockensubstanz (total suspended solids)
UASB-Reaktor	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
VKB	Vorklärbecken
Y'	Scheinbarer Ausnützungskoeffizient
η_{CSB}	Abbauleistung bezogen auf den CSB

6 LITERATURVERZEICHNIS

HOLINGER AG, Erarbeitung eines Entsorgungskonzeptes, POMDOR AG, März 1998

Colenco-HOLINGER AG, Genehmigungsprojekt Abwasservorreinigung POMDOR AG, Technischer Bericht, Juni 1998

Colenco-HOLINGER AG, Pläne ausgeführtes Werk (PAW) Abwasservorreinigung POMDOR AG, Dokumentation, Juni 2000

H. Siegrist und M. Boller; Abwasserreinigung I, Teil 2: Physikalische und chemische Prozesse, Skript, Wintersemester 1995/96

W. Gujer; Siedlungswasserwirtschaft, Auflage 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1999

7 ANHANG

- Betriebsdaten POMDOR AG Oktober 2000 bis Juni 2001
- Vergleichsmessungen Analytiklabor HOLINGER AG
- Gasanalysen SVGW