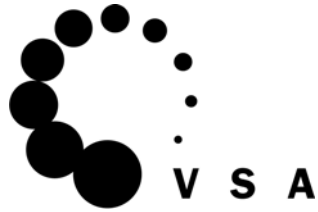


Verband Schweizer  
Abwasser- und  
Gewässerschutz-  
fachleute

Association suisse  
des professionnels  
de la protection  
des eaux

Associazione svizzera  
dei professionisti  
della protezione  
delle acque

Swiss Water  
Pollution Control  
Association



Fachtagung der VSA-Kommission «Industrie und Gewerbe»  
vom 20. Juni 2008 in Emmenbrücke

## **Prozessintegrierte und energieoptimierte Systemlösungen in der Milchindustrie**

Felix Rey  
Enviro Falk AG  
Twirrenstrasse 6  
8733 Eschenbach



# Prozessintegrierte und energieoptimierte Systemlösungen in der Milchindustrie

Felix Rey, Enviro Falk AG, Eschenbach

## Zusammenfassung

Veränderte Rahmenbedingungen in Produktion und Energieversorgung führen in der Milchindustrie zu Systemlösungen in der Wasser- und Abwassertechnik, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile vereinigen. Prozessintegrierte Technik arbeitet Flüssigkeitsströme direkt in der Produktion auf und vermindert dadurch den Reststoffanfall. Die Biogaserzeugung aus der anaeroben Umsetzung höher konzentrierter Produktionsrückstände leistet einen wichtigen Beitrag zur Energiebilanz. Die Umsetzung solcher Konzepte erfolgt immer individuell und an den jeweiligen Produktionsstandort angepasst.

## 1. Einleitung

Die Umsetzung von Konzepten in der industriellen Wasser- und Abwassertechnik wird durch die Herstellungsabläufe an den Produktionsstandorten definiert. In der Milch verarbeitenden Industrie zielen Optimierungsmaßnahmen in den Herstellungsprozessen maßgeblich auf vollständige Nutzung des Rohstoffs Milch und auf reduzierte Betriebsmittelverbrauch.

Besonders in Spül- und Reinigungsprozessen werden erhebliche Mengen von Hilfsstoffen wie Wasser, Säuren, Laugen und Desinfektionsmittel zur Einhaltung einwandfreier hygienischer Bedingungen verbraucht. Prozessintegriertes Säure- und Laugerecycling aus CIP-Stationen vermindert den Chemikalienbedarf, den Reststoffanfall und senkt den Verbrauch an Neutralisationsmitteln im resultierenden Abwasser.

Neben mit Produktionsresten verunreinigten Spülwässern aus Mehrwegverpackungen entsteht bei der Abfüllung von Milchprodukten

in Einwegverpackungen (z.B. PET-Flaschen) so genanntes Rinserwasser, das zum Desinfizieren der Gebinde vor dem Abfüllen verwendet wird. Auch hier ist eine Aufbereitung und Wiederverwendung des Spülwassers mittels Umkehrosmose sinnvoll.

Je nach Anforderungen an die Wiederverwendung sind Salzgehalt und hygienische Unbedenklichkeit des Recyclingwassers die wichtigsten Kriterien. Prozessintegrierte Lösungen zum Recycling werden daher meist als Membranprozesse ausgeführt. Die durch Enviro Falk realisierten ENVOPUR® Anlagen werden komplett in Edelstahl gefertigt und entsprechen einer lebensmittelgerechten Ausführung.

Wesentliche Änderungen bei der Herstellung neuer Milchprodukte ergeben sich aus der immer weitergehenden Nutzung der im Rohstoff „Milch“ enthaltenen Wertstoffe. Früher wurden die in der Käseherstellung anfallenden, erheblichen Mengen an Sauer- oder Süßmolke vor allem in der Tiermast als Futtermittel verwendet. Das noch in der Molke enthaltene Molkeprotein wird jedoch zunehmend für die Erzeugung von Molkeprotein-Konzentrat (WPC) durch Einsatz von Umkehrosmose und Ultrafiltration aufkonzentriert und dann als Zuschlagstoff für Milchprodukte eingesetzt. Das entstehende WPC-Permeat besteht hauptsächlich aus einer wässrigen Lösung von Milchzucker und Mineralsalzen, welche meist als Reststoff entsorgt werden muss.

Durch die gestiegenen Energie- und Entsorgungskosten bietet sich die anaerobe Behandlung dieser Reststoffe an. Obwohl der anaerobe Abbau von Molke schon seit langem untersucht wurde [1] [2], findet die anaerobe Behandlung mit Biogasgewinnung und anschließender Dampf- bzw. Stromerzeugung durch Nutzung des Biogases erst in neuerer Zeit

weite Verbreitung. Viele Projekte in diesem Bereich werden nicht mehr unter dem Aspekt der Reinigung zur Erfüllung von Behördenanforderungen gesehen, sondern maßgeblich unter dem Energieaspekt. In einem realisierten Projekt in Nordeuropa erfolgen Energiegewinnung und Abwasserbehandlung in einem

mehrstufigen biologischen BIOMAR<sup>®</sup> Prozess, in dem nicht nur Molkepermeat, sondern auch Produktreste und hoch belastete Ströme anderer Produktionsbereiche verarbeitet werden können (vgl. Bild 1).

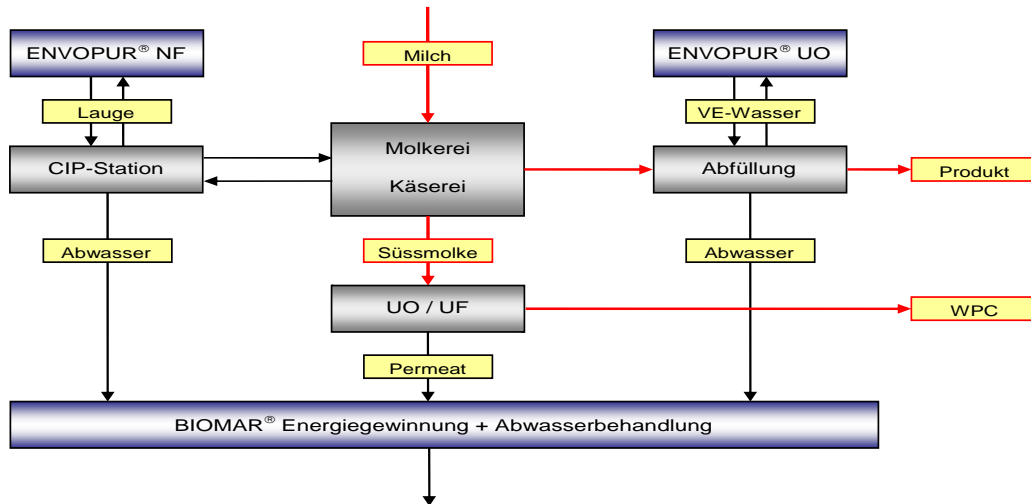


Bild 1: Einsatzbereiche realisierter Systemlösungen in der Milchindustrie

## 2. Projektbeispiele

### 2.1 CIP-Laugenaufbereitung

Ausgangssituation

TNUVA ist der grösste Milchverarbeitende Betrieb in Israel. Aufgrund der geographischen Lage des komplett neu errichteten Werks ohne nutzbaren Vorfluter muss das gesamte Betriebsabwasser (ca. 4000 m<sup>3</sup>/d) so aufbereitet werden, dass es zu Bewässerungszwecken verwendet werden kann. Neben der hygienischen Unbedenklichkeit des gereinigten Abwassers muss vor allem der Salzgehalt möglichst gering gehalten werden um eine Versalzung des Bodens zu verhindern. Dazu wird von einem Grenzwert von max. 130 mg Na<sup>+</sup>/l ausgegangen. Da die anfallenden CIP-Laugen aus Reinigungsprozessen in der Molkerei die Hauptquelle der Natriumbelastung im Abwasser darstellen, war ein Aufbereitungskonzept für diesen Teilstrom (ca. 200 m<sup>3</sup>/d) zu erarbeiten. Damit die Lauge wieder eingesetzt werden kann müssen Feststoffe sowie Milchbestandteile abgetrennt werden.

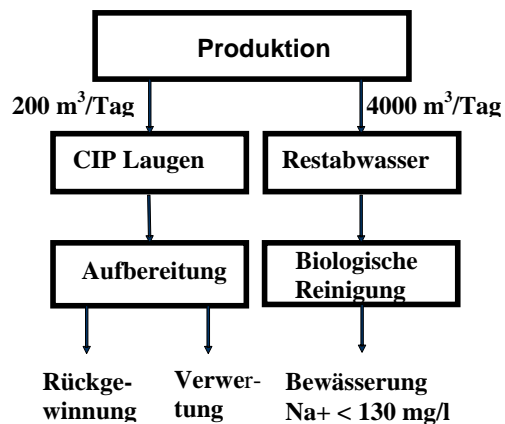


Bild 2: Aufteilung der Abwasserströme

### Aufbereitungskonzept

Neben den Resten der Reinigungslösungen enthalten die CIP-Laugen auch organische Produktreste wie MilCHFett, Laktose und Proteine. Um einerseits eine ausreichende Feststoff- und eine Abtrennung der gelösten Milchbestandteile zu gewährleisten, andererseits jedoch weitgehend reine Lauge zurück zu gewinnen wurde eine Membranfiltration über Nanofiltrationsmembranen als erster Aufbereitungsschritt gewählt. Nanofiltrationsmembranen mit einer Porengröße von 200 Dalton lassen Natronlauge passieren, halten aber die Milchbestandteile zurück. Das wasserklare Permeat aus dieser Stufe welches vorwiegend Natronlauge enthält, wird mit einer Eindampfanlage auf ca. 10 % NaOH aufkonzentriert und anschliessend wieder für Reinigungen eingesetzt.

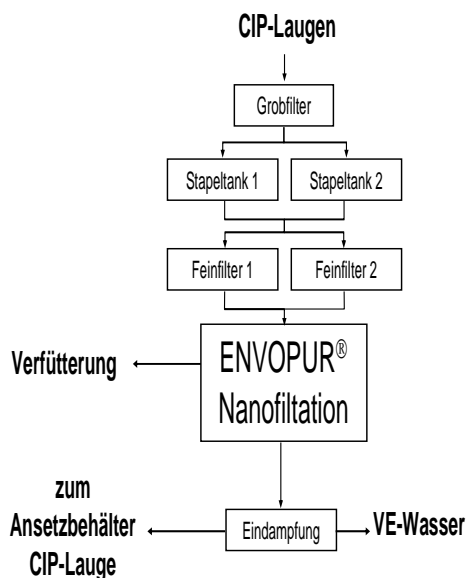


Bild 3: Aufbereitungskonzept

Das Kondensat aus der Eindampfanlage wird als VE Wasser wieder in der Produktion eingesetzt. Die aus der Nanofiltration anfallende Konzentratmenge von ca. 15 % wird extern für die Tierfütterung verwendet.

### Verfahrensprinzip der Nanofiltrationsanlage

Die anfallenden CIP-Laugen werden nach einer Grobfiltration in zwei unabhängige Stapeltanks mit einem Volumen von je 100 m<sup>3</sup> gepumpt, die wechselweise gefüllt werden. Erreicht ein Stapeltank die maximale Füllhöhe, so wird diese „Charge“ über die zweistraßig ausgeführte Nanofiltrationsanlage mit vorgeschalteter Feinfiltration (50 µm) bis zum gewünschten Aufkonzentrierungsgrad von 85 % abgearbeitet. Nach Erreichen der Aufkonzentrierung wird das Konzentrat in einen Speicher gepumpt, wo es bis zur Abgabe als Futtermittel verbleibt. Das erzeugte Permeat gelangt in den Vorlagebehälter für die nachfolgende Eindampfanlage. Nach jeder Charge erfolgt eine automatische Reinigung der Membranen mit einem speziellen Membranreiniger auf Basis von Enzymen. Anschliessend erfolgt ebenfalls eine Kurzspülung mit sehr verdünnter Salpetersäure um Kalzium- und Magnesiumablagerungen zu entfernen.

In der Membrananlage werden 48 Rohrmodule aus Edelstahl mit 18 seriell durchströmten ½-Zoll Rohrmembranen (Trenngrenze 200 Da) verwendet. Die gesamte installierte Membranfläche beträgt 125 m<sup>2</sup>. Nach nunmehr knapp dreijährigem Betrieb ist kein dauerhafter Rückgang in der Membranpermeabilität zu beobachten. Die Anlage wurde vor einem halben Jahr mit zusätzlichen Wickelmodulen erweitert um die Leistung den aktuellen Bedürfnissen anzupassen.



Bild 4: Gesamtansicht der Anlage zum Laugerecycling

## Betriebsergebnisse

Durch Wiederverwendung der Recycling-Lauge werden in der Molkerei täglich ungefähr 4.000 kg NaOH 30% eingespart und 130 m<sup>3</sup> VE-Wasser erzeugt. Durch den Rückhalt der organischen Verschmutzungen im Membranprozess wird die CSB-Fracht im Gesamtabwasser um ca. 20 % reduziert. Darüber hinaus ergeben sich durch reduzierten Neutralisationsmittelverbrauch Einsparungen im Äquivalent von 4000 kg Salzsäure 30% bei gleichzeitiger sicherer Einhaltung des Natrium-Grenzwertes im Gesamtabwasser. Die Neutralsalzbelastung des Gesamtabwassers wird damit effektiv abgesenkt. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist aufgrund der lokalen Situation gegeben. Die Nanofiltration kann auch sinnvoll eingesetzt werden um die CSB Fracht des Gesamtabwassers signifikant zu reduzieren.



Bild 5: ENVIROCHEMIE® NFI für Laugerecycling

## 2.2 Energiegewinnung aus Reststoffen

Die in Schweden errichtete Behandlungsanlage ist ein Beispiel für die gelungene Integration von Anforderungen der Abwasserreinigung in ein umfassendes Energiekonzept auf Basis der Erzeugung von Biogas.

### Ausgangssituation

Durch kontinuierliche Steigerung der Käseproduktion fielen in der Molkerei immer größere Mengen von Molke als Beiprodukt an. Die Unterbringung der steigenden Mengen von Molke als Viehfutter für die Landwirtschaft war nicht mehr möglich und die Produktion von Molkepulver durch Sprühtrocknung, wie sie lange Zeit durchgeführt worden war, war aufgrund fehlender Abnahmemärkte wenig ökonomisch. Eine Ableitung an die kommunale Kläranlage kam aufgrund der begrenzten Anlagenkapazität und der damit verbundenen hohen Gebühren nicht in Frage.

Im Jahr 2001 entschied sich die Geschäftsleitung daher für die Überprüfung eines integrierten Konzeptes von Molkeverwertung durch Produktion von Molkeprotein-Konzentrat (WPC) und Entsorgung der Produktionsreste (WPC Permeat, Fehlchargen...) zusammen mit dem Abwasser in einer Biogasanlage. Damit sollte darüber hinaus den immer weiter steigenden Energiepreisen begegnet werden. In einer Machbarkeitsstudie des schwedischen Instituts für Landwirtschafts- und Umwelttechnik in Uppsala [3] wurde das Konzept überprüft. Bereits im Jahr 2000 hatte EC Abbau- und Abbaubarkeitsuntersuchungen zur energetischen Verwertung von Molkepermeat durchführen lassen [4]. Nach weiteren Optimierungsmaßnahmen wurde ENVIRO-CHEMIE im Jahr 2003 aufgrund der langjährigen Erfahrungen in der Milchwirtschaft mit der Planung und dem Bau der Anlage beauftragt.

### Verfahren

Die Biogasanlage wurde auf eine maximale tägliche CSB-Fracht von  $B_{d,CSB} = 15.700 \text{ kg/d}$  bei einer mittleren hydraulischen Belastung von  $Q_d = 1700 \text{ m}^3/\text{d}$  ausgelegt.

Parameter	Wert
$B_{d,CSB}$	[kg/d] 15.700
$Q_d$	[m <sup>3</sup> /d] 1.700
$Q_{h,max}$	[m <sup>3</sup> /h] 80
$Lipophile_{max}$	[mg/L] 850
$\eta_{CSB}$	[%] 80
$Y_{CH_4}$	[L/kgCSB] 280

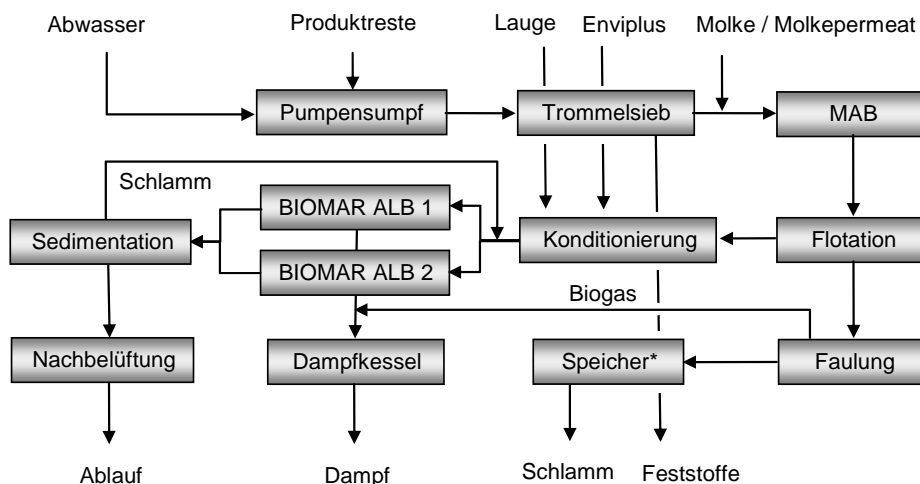
**Tabelle 1; Auslegungswerte**

Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen im Zulauf von 100 – 150 mg N/L bzw. 120 – 200 mg P/L, bei ca. 20 – 30 mg NO<sub>3</sub>-N/L stellen eine ausreichende Nährstoffversorgung im anaeroben Prozess sicher. Zusatzanalysen zeigten jedoch auch, dass aufgrund des hohen Anteils von „verarmtem“ Molkepermeat die

Zugabe von Spurenelementen für Biomassewachstum und Lauge zur pH-Wert Anhebung notwendig sind [5].

Das Konzept der Gesamtanlage wird in Bild 4 schematisch dargestellt. Die unterschiedlichen Abwasserströme und Produktreste der Molke- rei werden gesammelt und potenziell Grobstoff belastete Ströme über ein Trommelsieb vorge- reinigt. Im Misch- und Ausgleichsbehälter werden dann auch Molke bzw. Molkepermeat zugegeben. Hier findet bereits die Hydrolyse und Vorfermentation der organischen Inhalts- stoffe statt, in deren Verlauf der pH-Wert ver- weilzeitabhängig auf Werte um pH 5 – 4 ab- sinkt. Darüber hinaus ist eine Denitrifikation des aus Reinigungsprozessen mit Salpeter- säure stammenden Nitrats zu beobachten.

Nach der Vorfermentation werden freie Fette und Öle durch eine Druckentspannungsflota- tion abgetrennt. Ohne weitere Chemikalienzu- gabe erfolgt in diesem Reinigungsschritt die Reduzierung der CSB-Fracht um ca. 20 – 25 %. Der Flotatschlamm wird mit 4 – 7 % TR geräumt und in einem separaten Faulbehälter bei hydraulischen Aufenthaltszeiten (HRT) von über 20 Tagen ausgefault und stabilisiert.



**Bild 6** Blockschema der Gesamtanlage

Das vorgereinigte Abwasser wird nach Durchlaufen der Flotation in einem Konditionierungsbehälter auf optimalen pH-Wert und Spurenelementkonzentration eingestellt und in einem zweistufigen Wärmetauschersystem (Zulauf-Ablauf-Wärmetauscher und Heißwasser-Wärmetauscher) auf Prozesstemperatur gebracht. Die folgenden zwei BIOMAR® Anaerobreaktoren sind als Schlaufenreaktoren mit interner Kreislaufführung und zentralem Leitrohr ausgeführt. Das erwärmte Abwasser wird zentral in die Leitrohre der Reaktoren eingespeist und dort mit der Umwälzströmung vermischt. Im Bodenbereich der Reaktoren sorgen darüber hinaus zwei Seiten-Rührwerke für eine zusätzliche Tangentialströmung und Verhindern das Absetzen von Anaerobschlamm. Eine nominelle Aufenthaltszeit von  $HRT = 3 \text{ d}$  entspricht bei Auslegungsfracht moderaten Raumbelastungen von  $B_{R,CSB} = 3 - 4 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ . Zur Abtrennung des Anaerobschlammes ist den Reaktoren eine außen liegende Abscheideeinheit mit Boden- und Oberflächenräumer nachgeschaltet. Der Anaerobschlamm wird im Rücklauf mit dem zulaufenden Abwasser gemischt und erneut den Reaktoren zugeführt. Dem Abscheider folgt eine kleine Nachbelüftungseinheit, um anaerobe Restaktivität zu unterbinden bevor das Abwasser nach einer Endkontrolle in die kommunale Kanalisation abgegeben wird. Die Abluft aller potenziellen Geruchsquellen (MAB, Flotation, Abscheider, Zwischenbehälter) wird gefasst und über einen Biofilter behandelt.

Das in den Anaerobreaktoren und in der Floattschlammfäulung gebildete Biogas von bis zu  $8000 \text{ m}^3/\text{d}$  wird in einem Heizkessel zur Dampferzeugung verbrannt. Der Heißdampf wird in die zentrale Medienversorgung der Molkerei eingespeist. Das Energiekonzept wird durch eine Wärmepumpe komplettiert, die dem ablaufenden Abwasser noch zusätzlich Wärmeenergie entzieht und die Effektivität der Energiegewinnung weiter erhöht.

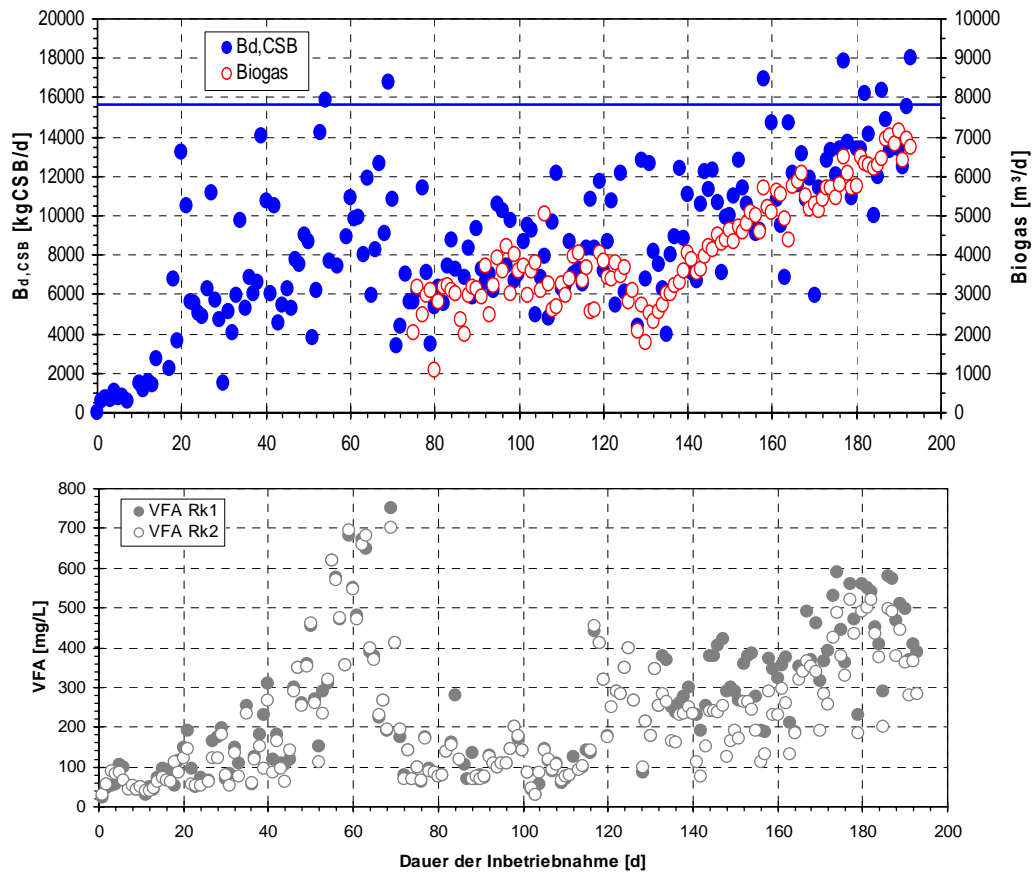


**Bild 7 Außenansicht Biogasanlage**

#### Betriebsergebnisse

Nach nun mehr als einjährigem Betrieb hat sich die Leistungsfähigkeit des Prozesses bestätigt. Die CSB-Konzentrationen im Anlagenzulauf liegen meist über den Auslegungswerten von  $12'000 \text{ mg/l}$ . Auch die maximale CSB-Fracht überstieg in Spitzenzeiten den Auslegungswert. Trotzdem beträgt die CSB-Elimination in den Anaerobreaktoren  $85 - 90 \%$ . Mit der WPC-Produktion wurde erst nach Inbetriebnahme der Anaerobanlage begonnen. Molke wurde sukzessive durch Molkepermeat ersetzt, so dass aufgrund des höheren Durchsatzes und der reduzierten Eiweißkonzentrationen im Zulauf auch der volumetrische Methangehalt im Biogas von  $75 - 80 \text{ Vol}\%$  auf ca.  $58 - 65 \text{ Vol}\%$  sank. Der pH-Wert in den Reaktoren wird auf Werte über  $\text{pH } 6,7$  durch die Dosierung von Natronlauge stabilisiert. Die Entwicklung der Biogasproduktion und der CSB-Fracht zur Anlage wird in Bild 8 gezeigt. Nach Animpfen mit Anaerobschlamm und einem kurzen Rückgang der Anlagenleistung nach dem Tag 60 konnte durch optimierten Betrieb eine kontinuierliche Zunahme der Belastung bis zum Auslegungswert erreicht werden. Die Überlastung der Anlage um den Tag 60 führte kurzzeitig zu hohen Konzentrationen der flüchtigen organischen Säuren von über  $700 \text{ mg/L}$ . Mit stetig steigender Raumbelastung bis zum Erreichen der Auslegungsfracht war auch ein stetiger Anstieg der Versäuerung in den Anaerobreaktoren zu beobachten.





**Bild 8** Entwicklung von CSB-Fracht, Biogasproduktion und organischen Säuren

Im Routinebetrieb der Anlage nach erfolgreichem Testlauf kam es nach ca. weiteren drei Monaten zu erneuten Problemen die von einem starken Anstieg der Versäuerungsprodukte in den Anaerobreaktoren begleitet wurden. Zusammen mit dem Bedienungspersonal wurde die unsachgemäße Entsorgung von zwei Chargen ca. 3 m<sup>3</sup> konzentrierter Salpetersäure aus dem CIP-System der Molkerei in den Abwasserpfad als Verursacher dieser Betriebsprobleme ausgemacht. Durch die hohe Nitratkonzentration im Zulauf kam es nur zu unvollständiger Denitrifikation im Misch- und Ausgleichsbehälter und vorübergehend zu extremen Nitrit-Konzentrationen > 1000 mg NO<sub>2</sub>-N/L. Nach zwischenzeitlicher erneuter Animpfung mit Anaerobschlamm und erfolgter Umstellung des CIP-Managements wurden solche Probleme nicht mehr beobach-

tet. Ein Augenmerk gilt derzeit der weiteren Optimierung der Reaktorfahrweise mit zunehmendem Volumenstrom an Molkepermeat. Es hat sich gezeigt dass der hohe Laktoseanteil im Molkepermeat zu einer Veränderung der Biomasse führt welche eine Abtrennung und Rückführung in den Reaktor erschwert. Um einen Verlust der Biomasse zu vermeiden wurden verdünnte Abwässer direkt zur kommunalen Kläranlage geleitet und die Anlage wird mittlerweile mit einer CSB Eingangskonzentration von 25'000 mg/l betrieben und läuft stabil.

### 2.3 Fracht- und Gebührenreduktion

#### Ausgangssituation

Die Hochdorf Nutritec AG produziert vorwiegend Milchpulver von verschiedenen Qualitäten und einige andere Fertig- und Halbprodukte. Es fällt vorwiegend Abwasser aus Reinigungen von Apparaten und Lagerbehälter an. Dieses Abwasser enthält nebst den Milchbestandteilen auch die notwendigen Reinigungsmittel.

Parameter		Wert
$B_{d,CSB}$	[kg/d]	2'030
$B_{d,BSB}$	[kg/d]	1'350
$Q_d$	[m <sup>3</sup> /d]	1'220
$Q_{h,max}$	[m <sup>3</sup> /h]	60

Tabelle 2: Auslegungswerte

#### Verfahrensprinzip

Das Abwasser aus der Produktion wird in einen Misch- und Ausgleichsbehälter mit einer Kapazität von einer Tagesmenge geführt. Anschliessend werden Fette mit einer Flotationsanlage abgetrennt. Das abgetrennte Fett wird in einer externen Biogasanlage mit einer Aufenthaltszeit von mehreren Wochen aufgearbeitet. Der Ablauf der Flotation wird einem Methanreaktor zugeführt. Aufgrund der sehr geringen CSB Belastung des Abwassers ist dieser Reaktor als Festbettreaktor gemäss Bild 9 ausgeführt und wird mit einer Aufenthaltszeit von ca. 8 Stunden entsprechend einer Volumenbelastung von ca. 3 kg CSB/m<sup>3</sup>,d betrieben. Das dabei anfallende Biogas wird über einen Biogasspeicher ins Kesselhaus geleitet. Das so vorgereinigte Abwasser wird anschliessend einer aeroben Endreinigung zugeführt. Diese aerobe Stufe ist als Belebungsbecken mit innenliegender Absetzzone ausgeführt. Der dabei gebildete Ueberschuss-Schlamm wird statisch eingedickt und mit einer Dekanterzentrifuge entwässert. Die Abluft aus den verschiedenen Behälter und aus dem Zentrifugenraum wer-

den einem Biofilter zur Desodorierung zugeführt.

Aufgrund der beschränkten Kapazität der kommunalen Kläranlage wurde die zulässige CSB Fracht die zur kommunalen Anlage geleitet werden darf auf 150 kg/Tag begrenzt. Die Hochdorf Nutritec AG hat sich für eine zweistufige biologische Abwasserreinigungsanlage entschieden im wesentlichen bestehend aus anaerober Vorreinigung und aerober Nachreinigung. Durch dieses zweistufige Konzept können der Energiebedarf und die Entsorgungskosten für den Ueberschuss Schlamm minimiert werden. Des Weiteren wurden durch diese Investition die Abwassergebühren und die Abhängigkeit von der kommunalen Kläranlage wesentlich reduziert.

#### Ergebnisse

Die in Tabelle 3 dargestellten CSB Reduktionen der einzelnen Verfahrensstufen von zwei Betriebsjahren zeigen, dass die Frachtlimite von 150 kg CSB pro Tag sicher eingehalten wird. Im allgemeinen liegen die Ablaufwerte bezüglich CSB bei 40 – 70 mg/l was einer Tagesfracht von 15 bis 30 kg entspricht. Auffallend ist der relativ grosse CSB Abbau im Misch- und Ausgleichsbecken von ca 40 %. Wahrscheinlich ist dies auf Denitrifikationseffekte oder auf die Wirkung der eingesetzten Desinfektionsmittel zurück zu führen. Die Flotation bringt eine weitere CSB Reduktion von ca.10 %, die anaerobe Stufe erbringt weitere 45 – 55 %. Die aerobe Stufe ist mit einer sehr geringen Schlammbelastung dimensioniert und erlaubt eine Ammoniumreduktion auf Werte um 0,1 mg/l. Die Betriebskosten für Chemikalien, Schlamm Entsorgung und Energie betragen nur 60 Rappen pro Kubikmeter und rechtfertigen das gewählte Verfahrenskonzept.

## Betriebserfahrungen

Es hat sich gezeigt, dass nach einer Betriebszeit von ca. 2 Jahren die Leistungsfähigkeit des Methanreaktors schrittweise zurückging. Das eingesetzte Festbett im Methanreaktor das aus strukturierten Packungen bestand, war grösstenteils zugewachsen durch Biomasse- und Fettablagerungen sodass Kanalbildung auftrat. Die bei vergleichbaren Anwendungen eingesetzten Packungen haben sich in diesem Anwendungsfall nicht bewährt. Mittlerweile wurden diese strukturierten Packungen durch ein Festbett bestehend aus Kunststoffrohren mit grösserem freien Durchgang ersetzt. Die Erfahrungen in den ersten 8 Monaten sind sehr positiv und mittlerweile werden Biogasmengen erreicht die vorher nicht zu beobachten waren.

## 3. Fazit

Wie anhand der drei ausgeführten Projektbeispiele gezeigt wurde, prägen zur Zeit zwei Trends die Wassertechnik in der Milchindustrie. Prozessintegrierte Lösungen vermeiden Abwasseremissionen bereits direkt am Entstehungsort und führen zu direktem Recycling in der Produktion. Dies wird z.B. durch Laugen- oder auch Spülwasseraufbereitung erreicht, die meist mit Membranverfahren erfolgen. Die Energiesituation vieler Betriebe macht darüber hinaus die energetische Nutzung organisch belasteter Abwasserströme und Reststoffe in Anaerobreaktoren zur Biogasproduktion immer vorteilhafter. Vor allem Molke und Molkepermeat sind attraktive Energiesubstrate, die sinnvoll genutzt werden können. Flankierende Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung verbessern darüber hinaus die energetische Gesamtbilanz solcher Anlagen. Als meistgenutzte Option der Biogasverwertung bietet sich die Verbrennung in Kesseln zur Erzeugung von Heißdampf an, der als universelle Energiequelle in Molkereien genutzt wird.

## Literatur

- [1] Märkl, H. (1981). Methangewinnung aus Molke. *Wissenschaft und Umwelt* 3, S. 129-134; 1981
- [2] Wildenhauer, F.X., Winter, J. (1985). Anaerobic digestion of high-strength acidic whey in a pH-controlled up-flow fixed film loop reactor. *Appl. Microbiol. Biotech.* Vol. 22, No. 5, Sept 1985
- [3] Nordberg, A, Ascue, J. (2002). Faulung von Abwasser und Restprodukten einer Molkerei. JTI - Institut für Landwirtschafts- und Umwelttechnik, Uppsala (unveröffentlicht)
- [4] Engelhart, M. (2000). Anaerobe Abbauversuche mit WPC-Permeat. Auftragsbericht des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, TU Braunschweig (unveröffentlicht)
- [5] Engelhart, M. (2006). Industrial wastewater treatment: 2 case studies. *Industrial Water 2006 "European Conference on Efficient Use of Water Resources in Industry"*, February 6-8, 2006, Frankfurt/Main, Preprints, pp.107-111