

# Einfluss der Abfallzusammensetzung auf den maximal möglichen Durchsatz – Ergebnisse der Langzeitüberwachung einer Abfallvergärungsanlage

Andreas Kottmair, Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG

## Einleitung

Die Vergärung von organischen Abfällen gewinnt weltweit an Bedeutung, da sie viele ökonomische und ökologische Vorteile mit sich bringen kann. Dennoch ist der wirtschaftliche Betrieb einer Biogasanlage nach wie vor bzw. heute mehr denn je eine Herausforderung.

Grundlage für den Erfolg ist in jedem Falle eine stabile Biologie, die den Abfall in möglichst kurzer Zeit soweit als möglich zu Biogas umsetzt. Die Mikroorganismen im Faulschlamm („Prozessbiologie“) benötigen hierfür konstant günstige Bedingungen: Wesentlich ist neben einer verträglichen Temperatur insbesondere die richtige Zusammensetzung der „Nahrung“.

Ein Blick auf die Zusammensetzung bakterieller Biomasse zeigt, dass die Trockenmasse zu rd. 97 % aus lediglich 7 Bioelementen besteht: Kohlenstoff: 50 %, Sauerstoff: 20 %, Stickstoff: 14 %, Wasserstoff: 8 %, Phosphor: 3 %, Schwefel: 1 %, Kalium: 1 %, Summe: 97 % (Schlegel, 1985).

Bei einer einseitigen Zusammensetzung des Anlageninputs können einzelne Bioelemente – im Verhältnis zu den anderen – in zu geringer Menge vorkommen. Dies führt dann zu einer Limitierung des mikrobiellen Wachstums und damit zu einer Limitierung des möglichen Durchsatzes durch die Anlage.

Neben den Makroelementen benötigt die Prozessbiologie in Biogasanlagen bekanntermaßen auch noch Spurenelemente wie Nickel, Cobalt oder Molybdän - diese sind als Co-Faktoren für die Methanbildung unerlässlich. Wie schon bei den Makroelementen führt ein Mangel an Spurenelementen zu einer Limitierung der möglichen Durchsatzleistung.

Welche erheblichen Auswirkungen eine einseitige Zusammensetzung des Inputs in der Praxis haben kann, wird nachfolgend am Beispiel einer Vergärungsanlage für Speisereste und Fettabscheider näher erläutert. Es wird insbesondere gezeigt, wie eine multifaktorielle Limitierung erkannt und dauerhaft behoben werden konnte.

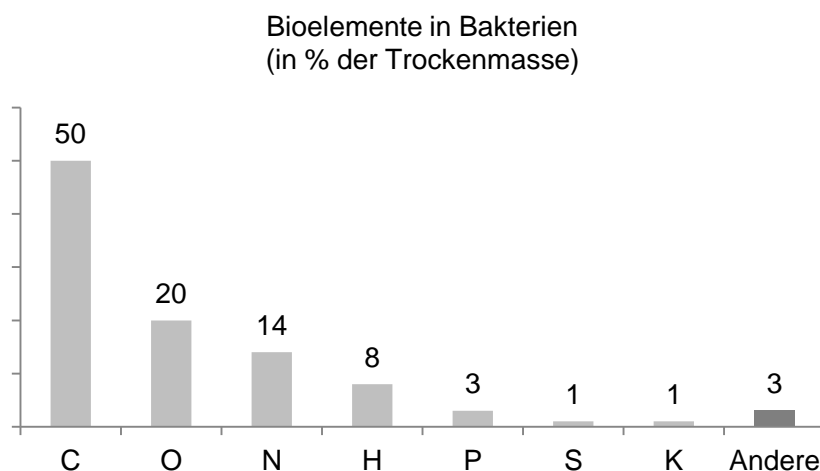


Abbildung 1: Bioelemente in bakterieller Biomasse (nach Schlegel, 1985)

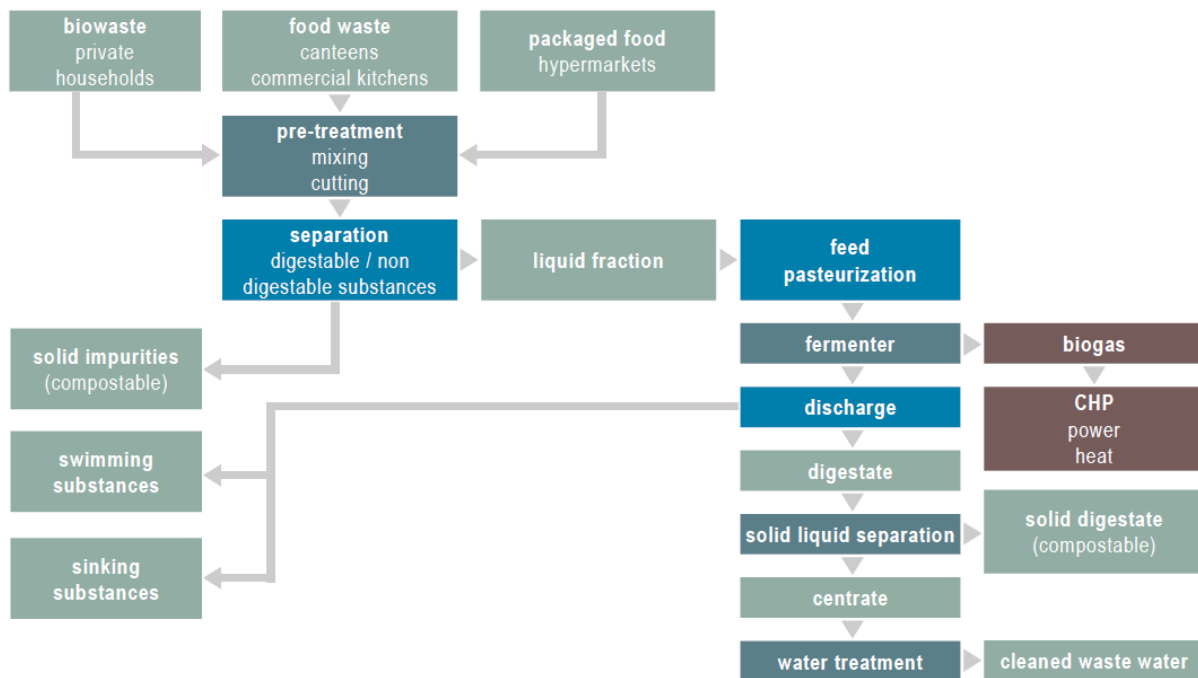


Abbildung 2: Verfahrensprinzip des „Fitec-Verfahrens“

### Anlagenbeschreibung

Am Standort in Hittenkirchen betreibt die Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG seit dem Jahr 2000 eine abfallwirtschaftliche Biogasanlage nach dem „Fitec-Verfahren“. Es werden in erster Linie Speisereste, verpackte Lebensmittel und Fettabscheider verwertet. Im Untersuchungszeitraum vom 1.1.2013 bis zum 31.7.2014 wurden im Durchschnitt 12,8 Tonnen Substrat pro Tag angeliefert und weiter verarbeitet.

Zu Beginn des Fitec-Verfahrens wird der Input zunächst gemischt und grob zerkleinert (siehe Schema in Abbildung 2). Danach wird der vergärbare Anteil mittels einer hydraulischen Separationspresse („BioSqueeze BS20“) abgetrennt.

Zur anschließenden Vergärung der aufbereiteten Abfallsuspension verfügt die Anlage über insgesamt 4 Rundbehälter. Zu Beginn der Untersuchung wurden 2 der Behälter als Hauptfermenter (je 800 m<sup>3</sup>), 1 Behälter als Nachgärer (400 m<sup>3</sup>) und 1 Behälter als Endlager genutzt (860 m<sup>3</sup>).

Nach der Abfallaufbereitung noch verbliebene Sinkstoffe und Schwimmstoffe werden beim Fitec-Verfahren durch einen Bodenräumer bzw. einen Skimmer aus dem Hauptfermenter entfernt.

Aus dem produzierten Biogas wurden im Untersuchungszeitraum in einem Blockheizkraftwerk vor Ort durchschnittlich 172 Kilowatt elektrische Leistung erzeugt.

## Überwachung der Prozessbiologie

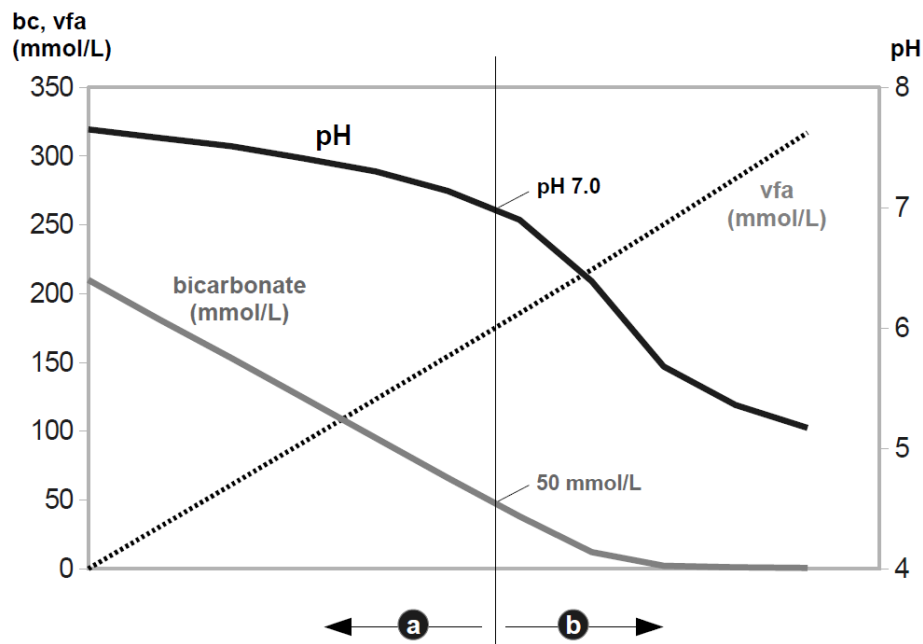
Zur online-Überwachung der biologischen Prozess-Stabilität kam ein Bicarbonat-Analysator vom Typ APAS zum Einsatz.

Bei dieser Messtechnik wird der Umstand genutzt, dass sich Störungen des anaeroben Abbaus zeitnah in steigenden Säurekonzentrationen zeigen. Diese Säuren wiederum verbrauchen äquivalente Mengen an Bicarbonat nach folgender Reaktionsgleichung:



(HR .. Organische Säure;  $\text{HCO}_3^-$  .. Bicarbonat;  $\text{R}^-$  .. Säureanion)

Ein kritischer Prozess-Zustand ist erreicht, wenn der Bicarbonat-Puffer im Fermenter unter 50 mmol/L fällt. Wie Abbildung 3 zeigt, sinkt der pH-Wert danach rasch auf Werte unter pH 6. Produktionsausfälle sind dann in vielen Fällen nicht mehr zu vermeiden.



- (a) = stabiler Bereich  
(b) = zunehmend instabiler Bereich,  
Gefahr von Produktionsausfällen

Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Flüchtige Organische Säuren, Bicarbonat und pH-Wert (berechnet für  $T = 40^\circ\text{C}$  und  $p\text{CO}_2 = 400\text{ hPa}$ )

## Prozessverlauf im Untersuchungszeitraum

In den ersten 7 Monaten des Untersuchungszeitraums schwankte der Bicarbonatgehalt im Hauptfermenter von 139 bis 233 mmol/L. Der vereinzelt im Labor bestimmte Gehalt an organischen Säuren lag in diesem Zeitraum bei rund 7,7 g/L bzw. 128 mmol/L (Essigsäure-Äquivalente, Mittelwert aus 4 Analysen).

Der für abfallwirtschaftliche Anlagen niedrige und immer wieder schwankende Bicarbonatgehalt zeigt zusammen mit den hohen Säurewerten, dass die Prozessbiologie beim Abbau der Säuren nahe an der Belastungsgrenze arbeitete.

Dies unterstreicht auch der Vergleich von erwarteter Leistung (P(forecast)) und tatsächlicher Leistung (P(value)). Die beobachtete Leistung lag immer wieder deutlich unter der erwarteten Leistung. Der Abbau der zugeführten Inputmaterialien war demnach unzureichend.

Zu einer weiteren Verschlechterung der Situation kam es, als die Belastung der Anlage ab Anfang August durch die Zugabe von Flotatschlamm weiter gesteigert wurde (Abbildung 4, **Ereignis 2**). In der Folge nahm die Prozess-Stabilität in Form der vorhandenen Bicarbonatkonzentration noch einmal deutlich ab.

Bei Unterschreiten von 100 mmol/L Bicarbonat wurde die Zufuhr von Flotatschlamm vorsorglich gestoppt, um einen kritischen Prozess-Zustand zu vermeiden.

Der Prozess bzw. der Bicarbonatgehalt konnte durch diese Maßnahme stabilisiert werden, die Limitierung des Säureabbaus blieb aber weiter bestehen. Darüber hinaus bildete sich wenige Monate später mehrfach massiv Schaum im Hauptfermenter.

## Analyse möglicher Ursachen für den Prozessverlauf

Die Beobachtungen (Bicarbonatgehalt, Säuregehalt, Schaum, reduzierte Ausbeute) deuteten gemeinsam darauf hin, dass die säureverbrauchenden, methanbildenden Bakterien in ihrem Wachstum limitiert waren. Eine offensichtliche Ursache war jedoch zunächst nicht zu erkennen. Um die Ursache(n) zu finden, wurden systematisch die nachfolgenden Faktoren untersucht und bewertet.

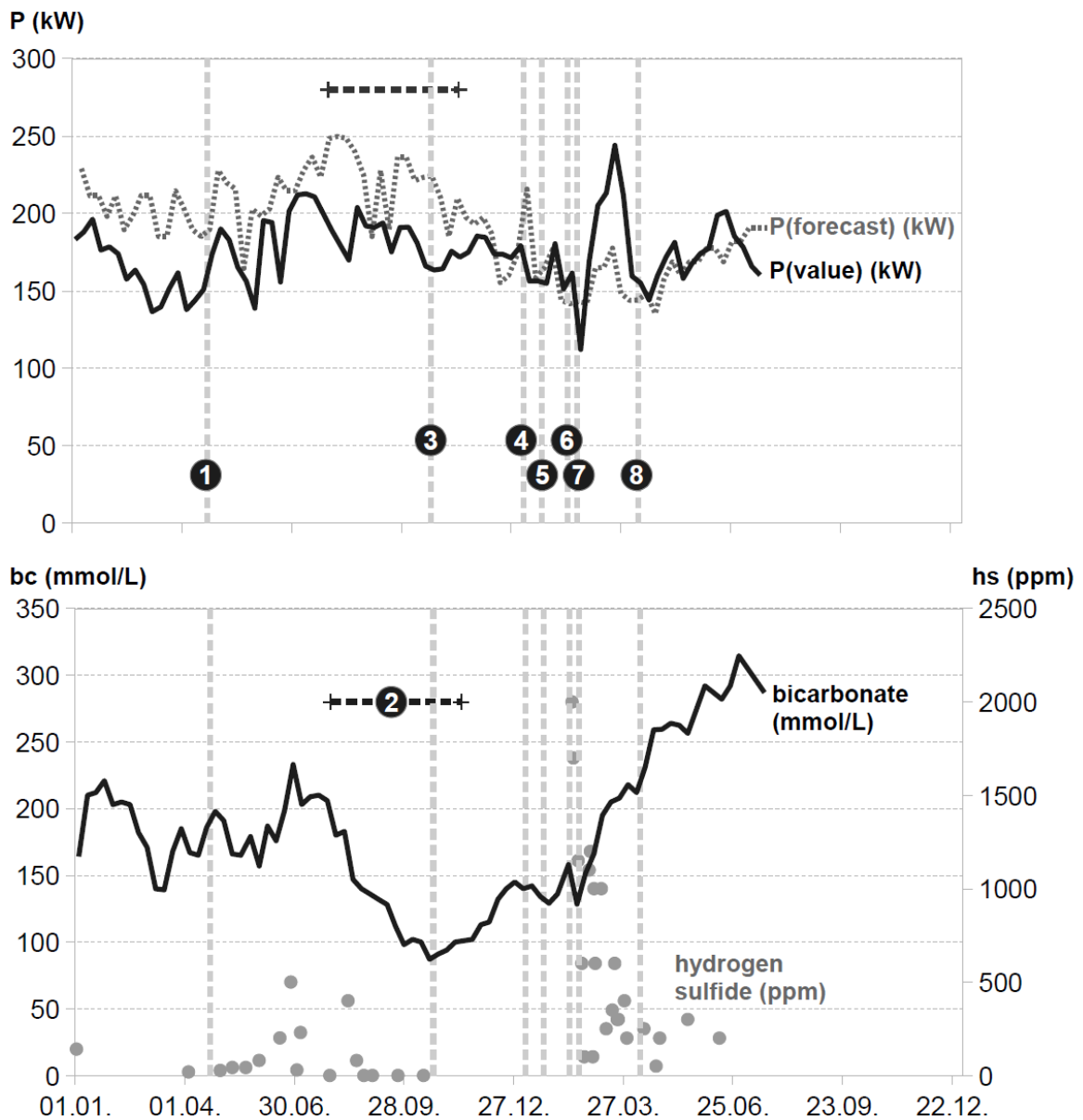
### Spurenelemente

Die Konzentrationen der Spurenelemente Nickel, Cobalt, Molybdän und Selen lagen im Untersuchungszeitraum alle in einem günstigen Bereich (Tabelle 1). Eine Limitierung durch fehlende Spurenelemente war demnach eher unwahrscheinlich.

Zur Sicherheit wurde bei **Ereignis 3** (Abbildung 4) die Dosierung an Cobalt und Nickel erhöht. Eine signifikante Verbesserung des Abbaus konnte in den darauf folgenden Wochen dadurch allerdings nicht beobachtet werden.

Tabelle 1: Spurenelemente im Hauptfermenter

Datum	Einheit	Ni	Co	Mo	Se
21.05.13	mg/kgOS	0,37	0,15	0,12	0,05
02.09.13	mg/kgOS	0,42	0,14	0,10	0,06
16.10.13	mg/kgOS	0,29	0,12	0,27	0,07
02.01.14	mg/kgOS	0,49	0,23	0,21	0,05
17.06.14	mg/kgOS	0,38	0,19	0,23	0,09



1	22.4. > ab hier Zugabe Eisenhydroxid	5	21.1. > Stopp Zugabe Eisenhydroxid
2	30.7. – 14.11 > Zeitraum mit Zugabe von Flotatschlamm	6	11.2. > ab hier nur noch ein Behälter als Hauptfermenter
3	22.10. > ab hier Dosierung Spurenelemente erhöht	7	19.2. > <b>Schaum!</b> 23.2. > ab hier Zugabe Eisenchlorid und Zugabe Phosphor
4	16.1. > <b>Schaum!</b>	8	10.4. > ab hier weitere Zugabe Phosphor

Abbildung 4: Verlauf diverser Prozessparameter und Ereignis-Dokumentation

### Bioelemente C, H, O, N, P, S, K

Wie in der Einleitung bereits beschrieben, können Bakterien nur dann optimal wachsen, wenn ihnen für den Aufbau der Zellsubstanz alle nötigen Bioelemente zur Verfügung stehen.

Da die Bakterien von Wasser (H<sub>2</sub>O) umgeben sind, sind die Elemente **Wasserstoff** und **Sauerstoff** praktisch immer vorhanden. Darüber hinaus ist bei Anlagen, die überwiegend proteinreiche Substrate wie Speisereste verwerten, auch das Bioelement **Stickstoff** regelmäßig im Überschuss vorhanden.

Für die Elemente **Phosphor**, **Schwefel** und **Kalium** errechnet sich für den gegebenen Input im Untersuchungszeitraum ein Bedarf von 0,3 bis 0,9 g P/kg Input, 0,1 bis 0,3 g S/kg Input und 0,1 bis 0,3 g K/kg Input (im Verhältnis zum zugeführten organischen Kohlenstoff) (Abbildung 5).

Ein Vergleich mit den im Gärprodukt analysierten Gehalten an P, S und K (Tabelle 2) zeigt, dass beim Element Kalium sicher kein Defizit bestand. Anders stellt sich die Situation bei den Elementen Schwefel und Phosphor dar. Dort waren die im Gärprodukt analysierten Konzentrationen gerade noch ausreichend (Schwefel) oder aber schon unterhalb des berechneten Bedarfs (Phosphor).

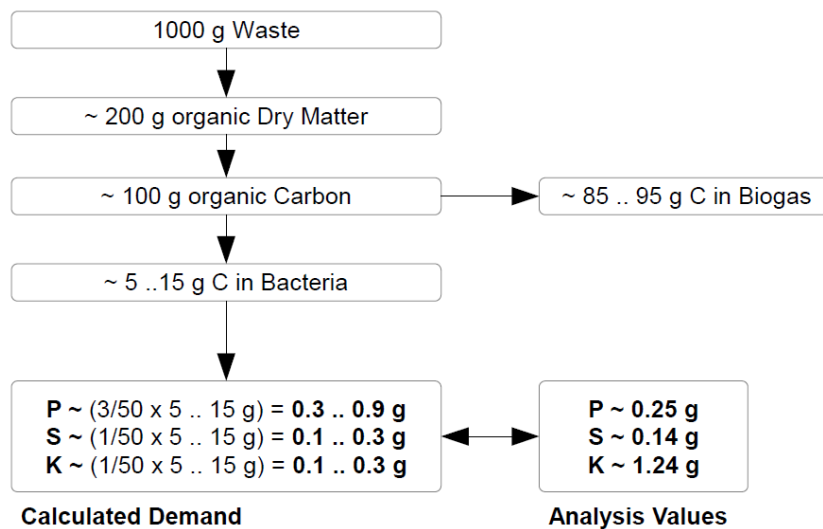


Abbildung 5: Kalkulation Bioelemente-Bedarf, C-Bilanz nach Bischofsberger et al., 2004

Tabelle 2: Phosphor, Schwefel und Kalium im Gärprodukt

Datum	P (g/kg OS)	S (g/(kg OS))	K (g/kg OS)
08.03.13	0,21	0,14	1,68
22.05.13	0,28	0,20	1,30
13.09.13	0,41	0,17	1,37
10.12.13	0,17	0,07	0,58
26.02.14	0,17	0,10	1,28
<b>Mittelwert</b>	<b>0,25</b>	<b>0,14</b>	<b>1,24</b>

### Entschwefelung

Der Mangel an Phosphor (und ggf. Schwefel) kann den Verlauf der Prozessdaten allerdings nur teilweise erklären. Die Phosphorwerte korrelieren nicht erkennbar mit dem Abbau der organischen Säuren bzw. mit dem Bicarbonatgehalt. Daher war anzunehmen, dass es noch mindestens einen weiteren Faktor geben muss, der einen Einfluss auf die Limitierung des bakteriellen Wachstums hat.

Ein Blick auf die Art und Weise, wie das Biogas bei der untersuchten Anlage entschwefelt wurde, gibt den entscheidenden Hinweis auf diesen Faktor. Aus Kostengründen wurde zeitweise durch Zugabe von **Eisenhydroxid** alternativ zur Zugabe von **Eisenchlorid** entschwefelt (siehe Abbildung 4, **Ereignisse 1, 5 und 7**). Trotz vergleichbarer Mengen an elementarem Eisen war dabei auffällig, dass der Schwefelgehalt im Biogas bei Zugabe von Eisenhydroxid in den Fermenter regelmäßig niedriger (und oft nicht nachweisbar) war, als bei Zugabe von Eisenchlorid (Abbildung 4).

Eisenhydroxid hat im Untersuchungszeitraum den freigesetzten Schwefel (H<sub>2</sub>S) offensichtlich deutlich effektiver als Eisenchlorid im Schlamm gefällt und damit aus dem Biogas entfernt.

### **Hypothese zum Prozessverlauf**

Eisensalze werden regelmäßig auch zur Fällung von Phosphor verwendet. Unter der Annahme, dass Eisenhydroxid nicht nur Schwefel sondern auch Phosphor effektiver fällt als Eisenchlorid, ergibt sich eine plausible Hypothese zum Prozessverlauf: Der bereits vorhandene Mangel insbesondere an gelöstem Phosphor wurde durch die Verwendung von Eisenhydroxid statt Eisenchlorid zur Entschwefelung weiter verstärkt. Die anschließende Steigerung der Belastung führte nachfolgend zu der beobachteten Krise im Prozessverlauf (Bicarbonatwert < 100, Schaumbildung).

### **Aufhebung der Limitierung**

Durch die Reduktion der Belastung und den Wechsel zurück zu Eisenchlorid als Entschwefelungsmittel konnte der zu Beginn des Untersuchungszeitraums vorliegende Prozess-Zustand wieder hergestellt werden.

Vollständig und dauerhaft aufgehoben werden konnte die Limitierung zum Schluss durch die regelmäßige Zugabe von Phosphor (Abbildung 4, **Ereignisse 7 und 8**). Sogar das Volumen des Hauptfermenters ließ sich dadurch ohne Einbußen bei der Leistung bzw. der Prozessstabilität halbieren (1 Behälter statt 2; Abbildung 4, **Ereignis 6**).

### **Diskussion**

Bei Prozess-Störungen gestaltet sich die Suche nach den Ursachen häufig schwierig. Dies gilt insbesondere, wenn die Störung nicht durch einen Faktor allein hervorgerufen wird.

Unabdingbar sind hierfür regelmäßige Aufzeichnungen über den Prozessverlauf. Darüber hinaus ist die kontinuierliche Analyse des Bicarbonatgehaltes im Fermenter ein mächtiges Werkzeug, um den Zusammenhang zwischen Benutzer eingriffen in den Prozess einerseits und deren Auswirkungen auf die Prozessstabilität andererseits sichtbar zu machen.

Am Beispiel einer abfallwirtschaftlichen Anlage wurde gezeigt, wie auf diese Weise die Ursachen für eine Prozess-Störung gefunden und die Störung letztlich dauerhaft behoben werden konnte.

### **Literatur**

- Schlegel, H. G., 1985: Allgemeine Mikrobiologie. 7. Auflage, Thieme.
- Bischofsberger, W. (Hrsg.) et al, 2004: Anaerobtechnik. 2. Auflage, Springer.