

Ernährungsberatung für Biogasanlagen mit biotip

Andreas Kottmair¹⁾; Dr. Klaus Hoppenheidt¹⁾; Dr.-Ing. Klemens Finsterwalder²⁾

1) ¹⁾ BifA GmbH; ²⁾ FITEC GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Klemens Finsterwalder
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG
Mailingerg Weg 5, 83233 Bernau/ Hittenkirchen, Tel.: 08051/6539-0,
E-Mail: k.Finsterwalder@fitec.com, Internet: www.fitec.com

Dipl.-Ing. (FH) Biotechnologie Andreas Kottmair
Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und –technik – BifA GmbH
Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg, Tel.: 0821/7000-156,
E-Mail: akottmair@bifa.de, Internet: www.bifa.de

Dr. Klaus Hoppenheidt
Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung und –technik – BifA GmbH
Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg, Tel.: 0821 7000 –157,
E-Mail: khoppenheidt@bifa.de, Internet: www.bifa.de

Faulschlamm – eine Lebensgemeinschaft hochaktiver Mikroorganismen

Gesunde Faulschlämme sind in der Lage so ganz unterschiedliche Materialien wie Gülle, Bioabfälle, Silagen oder Fette zu Biogas umzusetzen. Möglich wird dies durch die Vielfalt hochaktiver Mikroorganismen, die ein Faulschlamm normalerweise enthält. In ihrer Gesamtheit bilden sie eine Lebensgemeinschaft, die Erstaunliches leisten kann.

Höchstleistungen kann ein Faulschlamm allerdings nur dann erzielen, wenn seine „Ernährung“ stimmt. Eine Fehlernährung kann nicht nur zu Einbußen beim Gasertrag führen, im schlimmsten Fall wird der Faulschlamm im weiteren Prozessverlauf so stark beeinträchtigt, dass zu wenige Mikroorganismen nachwachsen, um die Verluste durch Absterben oder Austrag zu kompensieren – ohne Gegenmaßnahmen kommt der Prozess dann zum Erliegen.

Ausgewogen Füttern

Um die Leistungsfähigkeit eines Faulschlammes zu erhalten, sollte seine Fütterung also ausgewogen sein. Doch was ist unter „ausgewogen“ zu verstehen? Als ausgewogen dürfen wir die Ernährung betrachten, solange im Faulschlamm ein effektiver Abbau der zugeführten Gärsubstrate stattfindet und das Wachstum der einzelnen Mikroorganismen-Populationen eine dauerhafte Anreicherung von Zwischenprodukten – wie beispielsweise der Propionsäure – im gesamten Nahrungsnetz wirksam verhindert.

Um die Faulschlamm-Ernährung zu optimieren, sind 4 Teilaspekte bei der Fütterung einer Biogasanlage zu bedenken:

- Verwertbarkeit → Ist ein Substrat für die Vergärung überhaupt geeignet?
- Zusammensetzung des Inputs → Ermöglicht das Verhältnis der im Prozessverlauf freisetzbaren Bioelemente (C, N, P, S, u. a.) und physikalisch-chemisch wirksamen Substanzen (Säuren, Basen, Puffersubstanzen) eine stabile Gärung und einen optimalen Biogasertrag?
- Beschickung → Liegt die gewählte Belastung der Anlage in einem günstigen Bereich?
- Biologie → Enthält der Faulschlamm alle für einen umfassenden Abbau der Gärsubstrate notwendigen Mikroorganismen-Populationen in ausreichender Zahl?

Betreiber von Biogasanlagen können diese Fragen leider oft nur unzureichend klären, da sie über zu wenige Informationen verfügen. Die Folge ist, dass es in vielen Fällen zu – in der Regel kostspieligen - Prozess-Störungen kommt, bis der Betreiber aufgrund von Erfahrungswerten einschätzen kann, in welchem Bereich seine Anlage zuverlässig arbeitet.

Ernährungsberatung mit *biotip*

Um die geschilderte Situation zu verbessern, entwickeln das Bayerische Institut für Angewandte Umweltforschung und –technik – BfA GmbH und die Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG (FITEC) derzeit im Rahmen der *High-Tech-Offensive Bayern* gemeinsam das Informationssystem *biotip*.

Ausgangspunkt für die Prozessbewertung bzw. –prognose sind Daten und (optional) Proben, die der Betreiber (bzw. der Planer oder Erzeuger von Substraten) zur Verfügung stellt (Abbildung 1). Diese Daten bzw. Proben werden in den *biotip*-Submodulen „*elektronisches Betriebstagebuch*“, „*Prüfung der Vergärbarkeit*“ und „*Populationsanalyse*“ weiter verarbeitet. Die dort erzielten Ergebnisse fließen in zugehörige Datenbanken und von dort aus in das Simulationsmodul von *biotip* ein. Das Simulationsmodul ist der zentrale Baustein, mit dem - auf Grundlage eines mathematischen Modells – derzeit für bis zu drei in Reihe geschaltete, voll durchmischte Fermenter, Prognosen zum Verlauf des Gärprozesses erstellt werden können. Anhand von in der Simulation berechneten Kenngrößen, wie etwa der Geschwindigkeit, mit der die Methanbakterien im Fermenter wachsen, lässt sich der aktuelle Ernährungszustand des Faulschlammes bewerten. Wichtiger noch ist der Blick in die Zukunft – mit Hilfe der für eine Anlage geplanten Fütterungsdaten lässt sich in der Simulation schon im Voraus verfolgen, ob der Biogasenertrag und die Prozessstabilität weiterhin gesichert erscheinen. Bahnen sich in der Simulation kritische Zustände an, so können diese in der Wirklichkeit noch rechtzeitig durch eine gezielte Anpassung des „Speiseplans“ oder der Beschickung der Biogasanlage vermieden werden. Ebenso können verschiedene Fütterungsstrategien vorab im Rechner miteinander verglichen und so die Prozesse optimiert werden.

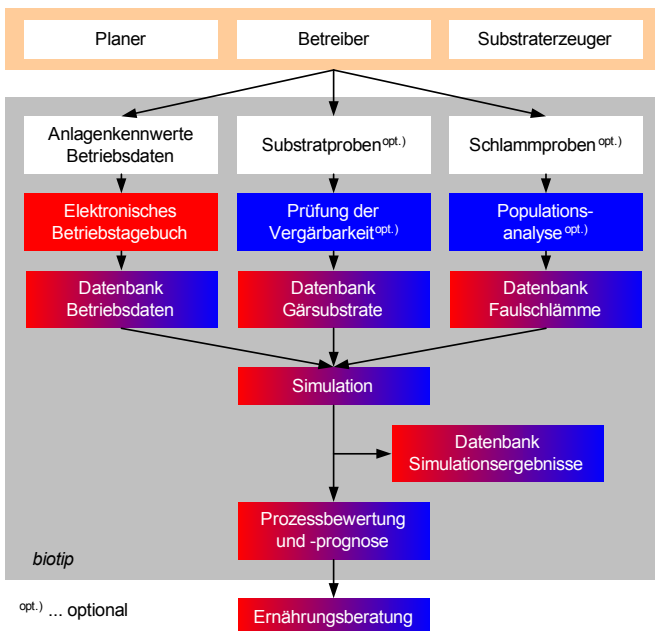


Abbildung 1: Struktur und Funktionsweise von *biotip*



Abbildung 2: Laborbiogasanlage

Simulation und Wirklichkeit

Ob das System geeignet ist, den Prozessverlauf bei der Vergärung verschiedener Substrate zu beschreiben, wurde mit Hilfe von 17 Liter-Laborbiogasanlagen geprüft (Abbildung 2). Das Beispiel in den Abbildungen 3 zeigt den Verlauf wichtiger Prozessparameter bei der Vergärung von Maissilage im Laborversuch und in der Simulation. Die Abweichungen zwischen Simulation und Wirklichkeit waren bei den im Versuch verfolgten Parametern Biogasproduktion (Abbildung 3a), Methangehalt (Ab-

bildung 3b), Pufferkapazität (Abbildung 3c) und pH-Wert (Abbildung 3d) gering. Die Projektion in die Zukunft mit geplanten Fütterungsdaten zeigte, dass der pH-Wert im Reaktor kritische Werte erreichen würde (Abbildung 3d). In der Realität kam der Prozess dann tatsächlich am 63. Versuchstag zum Erliegen. Bemerkenswert ist, dass der „Absturz“ im Vorfeld weder an der Biogasproduktion noch am Methangehalt im Biogas vorhersehbar gewesen wäre (Abbildung 3a und 3b).

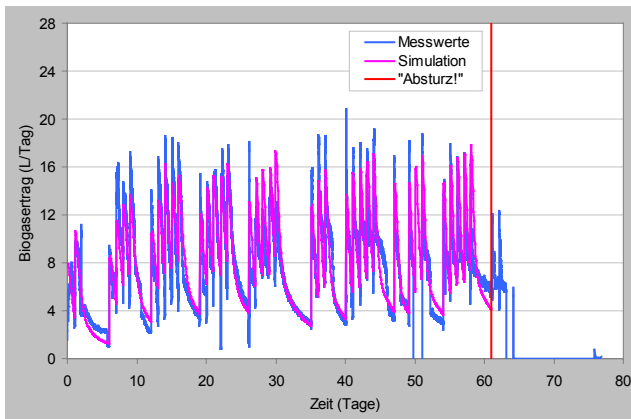


Abbildung 3a: Biogasproduktion bei der Vergärung von Maissilage

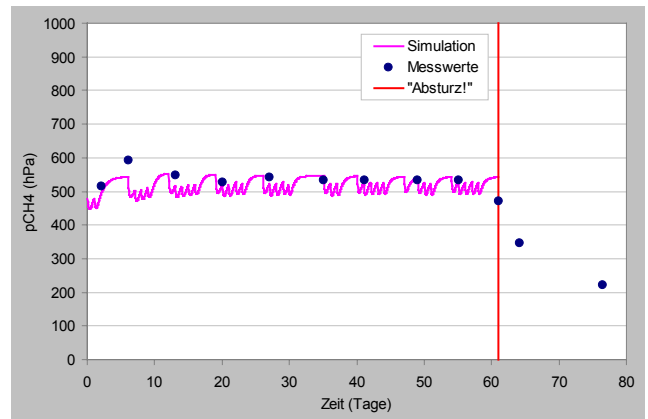


Abbildung 3b: Methan-Partialdruck im Biogas bei der Vergärung von Maissilage



Abbildung 3c: Pufferkapazität im Faulschlamm bei der Vergärung von Maissilage

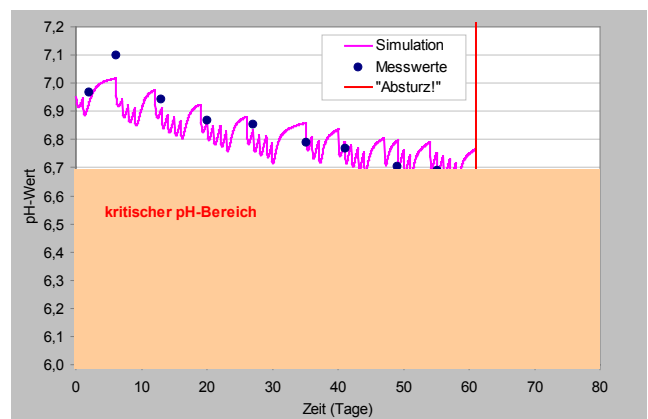


Abbildung 3d: pH-Wert im Faulschlamm bei der Vergärung von Maissilage

Alle bisherigen Laborversuche haben übereinstimmend gezeigt, dass - bei ausreichend genauer Kenntnis der Startparameter – die mit biotip vorhergesagten mit den tatsächlich beobachteten Prozessparametern nahezu deckungsgleich sind. Leider sind nun die Bedingungen im Labor nicht mit den Bedingungen in der Praxis vergleichbar. Die meisten für die Simulation relevanten Eingangsgrößen, die im Laborversuch noch mit guter Genauigkeit bestimmt werden können, sind in der Praxis mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet. In realen Anlagen sind im Regelfall nur die Geometriedaten der Reaktoren und die Temperatur der Suspension relativ genau bekannt. Die Mengenströme und deren Inhaltsstoffe – insbesondere der Gehalt an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen – können meist nur ungefähr angegeben werden. Analog gilt dies für die biologische Abbaubarkeit und die Abbaugeschwindigkeit der Substrate. biotip wurde deshalb so konzipiert, dass für die maßgeblichen Eingangsparameter auch Streuungen berücksichtigt werden können. Die Simulation liefert dann für die relevanten Prozessparameter nicht einen einzelnen Kurvenverlauf, sondern eine ganze Kurvenschar, in der jede Kurve eine andere Kombination der möglichen Werte für die Eingangsparameter repräsentiert. Die Hüllkurve beschreibt den Bereich, in dem sich die Anlagenparameter voraus-

sichtlich bewegen werden. Durch diese probabilistische Betrachtung der Vorgänge in den Reaktoren können kritische Zustände lange vor ihrem Eintritt erkannt werden, auch wenn die Eingangsdaten nur wenig präzise zur Verfügung stehen. Durch gezieltes richtiges Eingreifen kann in diesen Fällen zu- meist noch rechtzeitig und erfolgreich gegengesteuert werden.

Nachfolgend soll an einem weiteren Beispiel der probabilistische Ansatz und eine Auswahl der Infor- mationen, die mit biotip generiert werden können, gezeigt werden. Untersucht wurde in diesem Fall das Anfahren eines mit Bioabfällen und Speiseresten beschickten Reaktors:

Abbildung 4a zeigt als erstes den Verlauf und die mögliche Schwankungsbreite des Biogasertrags. Zu Beginn sinkt der Biogasertrag für kurze Zeit ab. Wichtigste Ursache hierfür ist, dass auch die Acetat- konzentration im Reaktor in dieser Zeit sinkt (siehe Abbildung 5a), da mehr Acetat abgebaut wird, als aus den zugeführten Substraten nachgebildet wird. Anschließend intensiviert sich der Abbau der zuge- führten Substrate und der Gasertrag steigt dadurch linear an. Schließlich erreicht der Gasertrag ein Plateau - der Prozess befindet sich nun im Fließgleichgewicht. Der Schwankungsbereich beträgt für den Gasertrag etwa 20 Prozent. Abbildung 4b gibt den zugehörigen Methanertrag an, der in diesem Fall analog zum Gasertrag verläuft.

Die Abbildungen 5 zeigen das Zusammenspiel zwischen der Acetatkonzentration, dem pH-Wert und der Pufferkapazität. Die Acetatkonzentration spiegelt die biologischen Abläufe wieder. Zu Beginn sinkt die Acetatkonzentration im Reaktor, da die Methan bildenden Mikroorganismen das Acetat schneller verbrauchen, als es von den Essigsäure bildenden Mikroorganismen nachgeliefert wird. Anschließend kehrt sich die Situation um - es wird ein Überschuss an Acetat produziert. Die Maxima der Acetatbil- dung treten, mit einer Streubreite von circa 50 Prozent um den Mittelwert, zwischen dem 13. und 24. Tag auf.

Der pH – Wert (Abbildung 5b) reagiert kaum, so dass ein Absturz durch Säurehemmung in diesem Beispiel nicht zu befürchten ist. Das Absinken der Pufferkapazität in den ersten Tagen (Abbildung 5c) ist auf den Acetatanstieg in dieser Zeit zurückzuführen. Jedoch werden auch zwischen dem 13. und 24. Tag - bei maximaler Acetatkonzentration - keine kritischen Werte erreicht. Anschließend stabili- siert sich die Pufferkapazität bereits wieder.

Die Abbildungen 6 zeigen abschließend für die Methan bildenden Mikroorganismen den Verlauf der Wachstumsrate und der Biomassekonzentration Die Wachstumsrate folgt dem Acetatangebot und erreicht im Bereich von 14 bis 25 Tagen ihr Maximum. Die Organismenkonzentration steigt hingegen kontinuierlich an und erreicht nach etwa 150 Tagen ihren maximalen Wert.

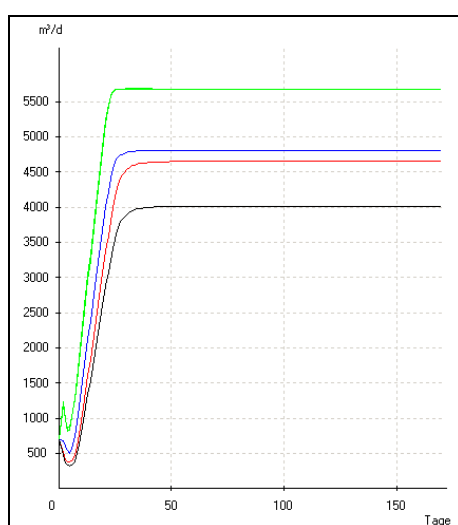


Abbildung 4a: Biogasertrag (m³/d)
(Methangehalt ca. 56 %)

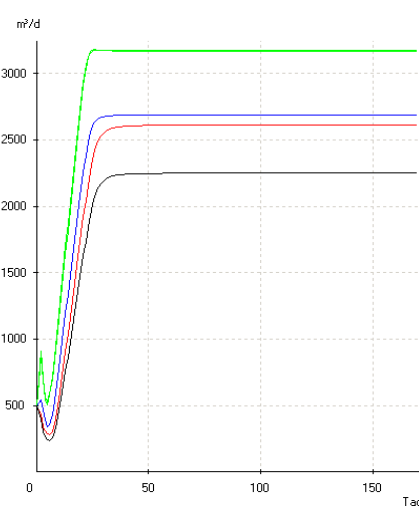


Abbildung 4b: Methanertrag (m³/d)

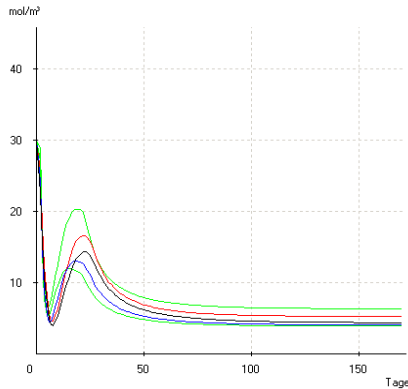
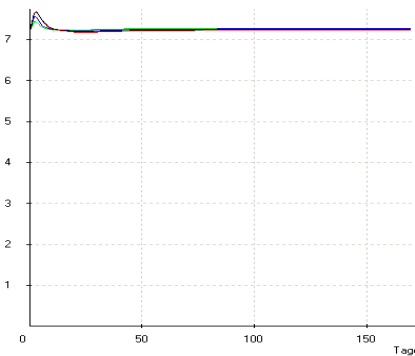
Abbildung 5a: Acetatkonzentration (mol/m³)

Abbildung 5b: pH-Wert

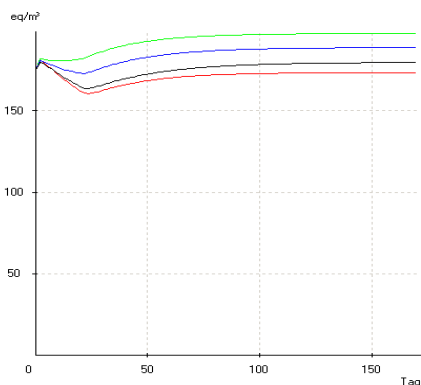
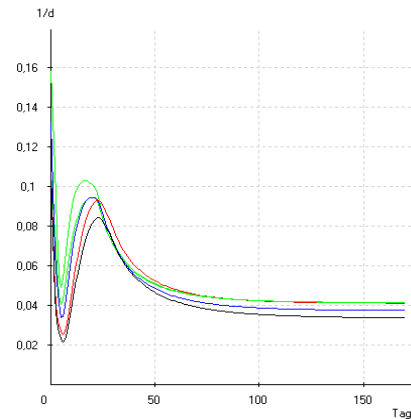
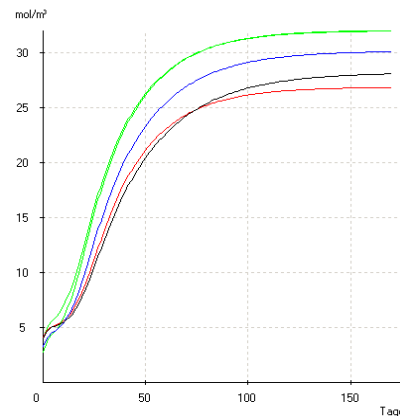
Abbildung 5c: Pufferkapazität (eq/m³)

Abbildung 6a: Wachstumsrate der Methanogenen (1/d)

Abbildung 6b: Konzentration an Methanogenen (mol/m³)

In einer realen Anlage können nur einzelne Parameter wie der Biogasertag oder die -zusammensetzung relativ einfach gemessen werden. Schon die exakte Bestimmung des pH-Wertes ist schwierig. Hier hilft die Simulation, wie das obige Beispiel zeigt, die Zusammenhänge zu erkennen und möglichen Fehlentwicklungen entgegenzusteuern.

Ausblick

Der (betriebswirtschaftliche) Nutzen und die Grenzen von biotip werden derzeit an sechs Referenzanlagen, die sich in ihrer Größe und dem verwerteten Substratspektrum unterscheiden, aufgezeigt.

Anzumerken bleibt, dass gerade eine einseitige Substratauswahl - wie derzeit bei der Monovergärung von NawaRoS zu beobachten - für die Anlagenbetreiber erhebliche Risiken birgt. Bei der Beratung von Betreibern, die Schwierigkeiten mit der Biologie in ihren Anlagen hatten, hat sich gezeigt, dass mit Hilfe von biotip die Primärursachen für die Schwierigkeiten entschlüsselt werden können. Da das künftige Verhalten der Biologie in einer Biogasanlage unter den geplanten Betriebsbedingungen beurteilt werden kann, lässt sich das Betriebsrisiko erheblich reduzieren.