

Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses Laboranalytik



Nr. III – 6/2010

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe III (Prozessbiologie, -bewertung und Analytik) im „Biogas Forum Bayern“ von den Autoren:



Günter Henkelmann, Kirsten Meyer zu Köcker

Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen



**Dr. Andreas Gronauer, Dr. Mathias Effenberger, Dr. Hauke Heuwinkel,
Dr. Michael Lebuhn**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Probenahme	2
3. Schlüsselparameter	3
3.1 Trockensubstanz / organische Trockensubstanz (TS/oTS)	3
3.2 pH-Wert	3
3.3 FOS/TAC	4
3.4 Flüchtige Fettsäuren (FFS).....	4
3.5 Spurenelemente	4
3.6 Ammoniak (NH₃) bzw. NH₄-N	5
4. Fazit.....	5
Anhang.....	7

1. Einleitung

Der Markt für die Bioenergie hat in den vergangenen Jahren einen enormen Aufschwung genommen. Dabei ist das Wachstum der land- und forstwirtschaftlichen Biomassenutzung in der Form von Biogasanlagen gleichermaßen vom technischen Fortschritt sowie von politischen Zielvorgaben vorbestimmt. Ein wichtiger Grund für die Nutzung nachwachsender Energieressourcen ist jedoch der Klimaschutz. Die Nutzung von Bioenergieträgern setzt dabei nur so viel Kohlendioxid frei, wie zuvor durch die Pflanzen gebunden wurde.

Neben einer höheren Flächenproduktivität sind prozesstechnische und ökonomische Maßnahmen erforderlich, um den Nutzwert der regenerativen Bioenergie zu maximieren. Um eine Biogasanlage individuell auszulasten und die Prozesse zu optimieren, sind Messwerte bzw. Laboruntersuchungen für die wichtigsten Parameter – die sogenannten Prozessindikatoren - notwendig. Diese Schlüsselparameter sollten als wesentliche Kenngrößen des biochemischen Prozesses im Fermenter einer ständigen Überwachung und Kontrolle unterliegen, um in einen suboptimalen Prozess einzugreifen oder in kritischen Situationen die Methanproduktion wieder beherrschbar zu machen.

Im Folgenden werden die gängigsten Schlüsselparameter für die Überwachung des anaeroben Abbauprozesses in Biogasanlagen kurz erläutert und grundlegende Hinweise zu deren Interpretation gegeben. Weiterhin werden gängige Analysemethoden für die Schlüsselparameter genannt. Die angegebenen Werte dienen lediglich der Orientierung und können für individuelle Anlagen deutlich abweichen.

Gasanalytik, welche häufig vor Ort durchgeführt wird, wird in diesem Papier nicht behandelt.

2. Probenahme

Wie bei jeder Analytik ist auch bei der Analyse des Fermenterinhalt darauf zu achten, dass die zu entnehmende Probe möglichst repräsentativ für den Inhalt des gesamten Fermenters ist. So ist beispielsweise auf eine gute Durchmischung des Faulraums vor der Probenahme zu achten. Es muss weiterhin sichergestellt werden, dass an der Entnahmestelle frisch durchmischter Fermenterinhalt entnommen wird. Ist z.B. ein Hahn zur Entnahme vorhanden, muss dieser vor der Probenahme gründlich mit Fermenterinhalt gespült werden. Auch sonstige möglicherweise vorhandenen „Totvolumen“, beispielsweise Leitungen, Überläufe etc. müssen gespült werden. Selbstverständlich ist, dass ein sauberes, geeignetes Gefäß für die Abfüllung oder den Transport ins Labor verwendet wird.

Um Veränderungen der Probe weitgehend zu vermeiden, ist es notwendig, diese kühl zu lagern (Kühlschrank bei 6°C) und sie möglichst schnell zu analysieren. Für den Transport in ein externes Labor ist das Transportgefäß gut zu beschriften, in eine dicht verschlossene Kunststofftüte zu verpacken und die Zugabe eines Kühlakkus oder eines Kühlpads zu empfehlen. Das in der Praxis übliche Einfrieren von Fermenterproben ist fachlich sehr umstritten. Beim Auftauen können hohe Verluste flüchtiger Verbindungen auftreten und Zellen zerplatzen.

3. Schlüsselparameter

Im Folgenden sind die wichtigsten Schlüsselparameter benannt, die von den Experten derzeit als entscheidende Parameter zur Beurteilung des Biogasprozesses angesehen werden. Im Anhang sind die Methoden dargestellt, mit denen diese Parameter in der Praxis analysiert werden.

3.1 Trockensubstanz / organische Trockensubstanz (TS/oTS)

Die Trockensubstanz (TS) und insbesondere die organische Trockensubstanz (oTS) sind Messgrößen, die als Bezugsgrößen für andere Parameter dienen (z.B. Stickstoff, Protein, Spurenelemente). In der Praxis finden sich abhängig von der Anlagenkonfiguration und den Einsatzstoffen Faulraumbelastungen von wenigen Kilogramm bis hin zu 10 und mehr $\text{kg oTS} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$, bezogen auf den Gesamtgärraum der Anlagen.

Rührkesselfermenter werden in der Praxis meist mit TS-Gehalten von etwa 8 - 10 % betrieben. Gehalte von über 10 % TS erfordern erhöhten Rühr- und Pumpaufwand und können stärkeren Verschleiß verursachen. Ist andererseits der TS-Gehalt sehr niedrig, befindet sich in der Anlage viel Wasser, welches nicht zum Gasertrag beiträgt und nur wertvollen Raum „verschenkt“.

Trockensubstanz und evtl. auch organische Trockensubstanz sind gut vor Ort durch den geschulten Betreiber durch Wiegen zu ermitteln. Die verwendbaren Methoden und Verfahren finden sich im Anhang.

3.2 pH-Wert

Typischerweise sind Essigsäure- und methanbildende Organismen in Biogasanlagen unterhalb pH 6,8 im Wachstum gehemmt. Oberhalb pH 8,0 kann eine verstärkte Ammoniaktoxizität auftreten. Je nach Probenahmeort finden sich in der Praxis pH-Werte zwischen 6,5-9.

Der pH-Wert ist in ausreichender Genauigkeit mit gängigen pH-Messgeräten auch vor Ort durch den geschulten Betreiber zu ermitteln. Der Wert an sich ist allerdings für eine vorausschauende Beurteilung des Prozesses nicht geeignet, da er auf Grund der Puffereigenschaften des Gärgemisches sehr träge reagiert. Die Ermittlung ist aber dennoch wichtig, da sich durch die Aufzeichnung der Messwerte Tendenzen und Trends in der zeitlichen Abfolge der Einzelwerte bemerkbar machen können und sich zudem Rückschlüsse auf andere Parameter (z.B. Ammonium und Ammoniak) ziehen lassen. Zu beachten ist, dass sich der pH-Wert der Probe durch längeres Stehen und durch den Proben transport verändern kann. Im Allgemeinen werden direkt vor Ort etwas niedrigere Werte als im Labor ermittelt.

3.3 FOS/TAC

Der FOS/TAC gibt das Verhältnis des Gehalts an flüchtigen Fettsäuren zur Pufferkapazität an. Dieser Wert beschreibt den biochemischen Zustand im Fermenter und sollte regelmäßig gemessen werden, um Änderungstendenzen frühzeitig erkennen und ggf. eingreifen zu können.

Der Wert ist in seinem Ergebnis jedoch stark von der Bestimmungsmethode abhängig, weshalb sich auch große Spannweiten ergeben. Entscheidend für die anlagenindividuelle Prozessüberwachung ist daher die Beobachtung des Verlaufs des FOS/TAC-Wertes bei regelmäßiger Bestimmung nach einheitlicher Methode (möglichst durch dieselbe Person) sowie die Erkennung von Abweichungen vom „Normalwert“ der spezifischen Anlage.

FOS/TAC Werte sind bei geeigneter Ausstattung vor Ort durch einen geschulten Betreiber ermittelbar.

3.4 Flüchtige Fettsäuren (FFS)

Flüchtige Fettsäuren sind ein Zwischenprodukt im Biogasprozess. Sie wirken bei zu hoher Konzentration hemmend auf die Prozessbiologie. Durch die Analyse der einzelnen Säuren können Aussagen zum Zustand des Prozesses getroffen werden. Die Essigsäure sollte daher im niedrigen, einstelligen Grammbereich pro Liter liegen, die Konzentration der Propionsäure deutlich darunter, weitere Fettsäuren eine Zehnerpotenz niedriger. Für die Bestimmung der Fettsäuren werden sehr unterschiedliche Methoden verwendet. Es gibt Methoden, die einen Summenparameter für die Fettsäuren ermitteln ohne die einzelnen Komponenten zu bestimmen. Einzelne Fettsäuren können nur chromatographisch bestimmt werden. Die Praxis der Laboruntersuchungen zeigt jedoch, dass die chromatographisch bestimmten und hieraus berechneten Werte für ein Essigsäureäquivalent mit den Werten, die als Summenparameter direkt bestimmt werden, keine gute Übereinstimmung aufweisen. Die Bestimmung der Fettsäuren sollte daher einem guten Labor vorbehalten bleiben.

3.5 Spurenelemente

In Versuchsfermentern konnten in den letzten Jahren Prozesshemmungen beobachtet werden, die man einem Spurenelementmangel, vor allem der Elemente Nickel, Kobalt, Molybdän und Selen zuschreiben konnte.

Mit besonderer Vorsicht muss eine Zudosierung von Spurenelementen erfolgen, da diese, abhängig von den eingesetzten Mengen, toxisch auf den Prozess wirken können. Als Schwermetalle belasten sie Mensch und Umwelt und können ggf. die Verkehrsfähigkeit der Gärreste durch Überschreitung der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte in Frage stellen.

Die Spurenelementbestimmung ist eine sehr aufwändige Labormethode. Sie wird zumeist mit der Technik der Atomabsorption (AAS) oder mit einem „Inductively Coupled Plasma (ICP)“ (englisch für induktiv gekoppeltes Plasma) durchgeführt. Es ist darauf zu achten, welche Bestimmungsgrenzen das durchführende Labor für die zu untersuchenden Elemente

einhalten kann und ob die Genauigkeit für die Fragestellung ausreichend ist. Für eine spätere Bewertung der Spurenelementgehalte im Gärprozess sind für die Elemente Kobalt, Nickel, Molybdän und Selen Analysen mit Bestimmungsgrenzen im Bereich ppb ($\mu\text{g/l}$) erforderlich, für die anderen Elemente sind nach heutigem Kenntnisstand Bestimmungsgrenzen von ppm (mg/l) ausreichend.

3.6 Ammoniak (NH_3) bzw. $\text{NH}_4\text{-N}$

Ammoniak kann im Biogasfermenter aus dem Abbau der Proteine und aus anderen stickstoffhaltigen Verbindungen wie Nitrat, Harnstoff oder Harnsäure entstehen, welche unter anderem auch in Rinder- und Schweinegülle oder Geflügelkot enthalten sind. Ammonium und Ammoniak stehen in Lösung in einem Gleichgewicht zueinander. Dabei ist die Ammoniakkonzentration im Biogasprozess stark abhängig vom pH-Wert, der Temperatur und der Ammoniumkonzentration des Fermenterinhalt. Bei niedrigen pH-Werten (im sauren Bereich) liegt ausschließlich Ammonium vor. Bei pH-Werten oberhalb von 7 und darüber und bei höheren Temperaturen ($> 40\text{ }^\circ\text{C}$) verschiebt sich das Dissoziationsgleichgewicht stark in Richtung Ammoniak. Ammoniak ist ein toxischer Stoff im Biogasprozess. Besonders bei stickstoffreichen Substraten (wie z.B. Getreide, Geflügelkot, Leguminosen oder Lebensmittelabfälle) sollte dieser Wert regelmäßig gemessen, aufgezeichnet und beobachtet werden.

Die Bestimmung des Ammoniumstickstoffs kann nach DIN 38406-E5 erfolgen. Über diesen Wert ist bei Kenntnis des pH-Werts und der Temperatur ein Rückschluss auf die Ammoniakkonzentration möglich. Eine direkte Ammoniakmessung in der Lösung ist in der Routine derzeit nicht möglich. Zu beachten ist, dass sich der Ammoniumwert bei längerer Aufbewahrung und durch den Proben transport insbesondere bei höheren Temperaturen drastisch vermindern kann und damit häufig die Konzentration unterschätzt wird.

4. Fazit

Die Laboranalytik bietet dem Betreiber zahlreiche Analysenverfahren, mit denen eine Biogasanlage vom Substrat bis zum verkehrsfähigen Gärrest begleitet werden kann. In welchem Umfang und mit welcher Frequenz diese o.g. „Schlüsselparameter“ des Gärprozesses untersucht werden sollen, liegt im Ermessen des Anlagenbetreibers und ist abhängig von der Technik, der Auslastung und dem Betriebszustand einer solchen Anlage. So kann sich ein Betreiber im störungsfreien Routinebetrieb z.B. einer reinen „Gülleanlage“ und bei Anlagen mit langen Verweilzeiten sicherlich mit wenigen Routinemessungen ein Bild über den Zustand seiner Anlage verschaffen, benötigt jedoch intensive und schnelle Unterstützung mit Messergebnissen und Laboranalytik, wenn der Biogasprozess gestört ist oder sich die erzeugte Methanmenge aus unerfindlichen Gründen reduziert hat. Hohe Raumbelastungen, kurze Verweilzeiten und „problematische“ Substrate, von denen beispielsweise bekannt ist, dass sie zu Mangelzuständen führen können, erfordern ebenfalls häufigere Analysen.

So ist ein sinnvoller und angemessener Einsatz dieser Messungen und Maßnahmen von Anlage zu Anlage abzuwägen. Zur Beurteilung des benötigten Analysenumfanges (was, wann, wie oft?) und auch für die Interpretation der erhaltenen Ergebnisse sind jedoch

weitreichende Kenntnisse des Prozesses und der chemischen Abläufe notwendig. In diesem Zusammenhang sei daher auch auf folgende Titel der im Biogas-Forum Bayern erschienenen Publikationen hingewiesen:

Motivation, Voraussetzungen und Möglichkeiten für die Prozessüberwachung

www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Motivation_Voraussetzungen_und_Moeglichkeiten_fuer_die_Prozessueberwachung_.pdf

Hinweise zum Anfahren einer Biogasanlage

www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Hinweise.zum.Anfahren.einer.Biogasanlage.pdf

Prozessmodell Biogas

www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf

Anhang

Parameter und Methoden

Bei den hier angegebenen Methoden handelt es sich lediglich um die Methoden, von denen den Autoren bekannt war, dass diese im Bereich „Biogas“ benutzt werden. Dringend zu beachten ist, dass viele dieser Methoden und die normierten Vorschriften ursprünglich für andere Probenmaterialien entwickelt wurden. Daher ist es oft notwendig, eine Vorschrift zur Probenvorbereitung und -verarbeitung so zu verändern, dass bei der Aufreinigung die Probenmatrix (z.B. der Gärrest) berücksichtigt wird. Durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Probenmaterialien und durch eine Vielzahl „störender Bestandteile“ müssen ebenso häufig die Analysemethoden den zu untersuchenden Proben angepasst werden.

Trockensubstanz / Trockenmasse / Trockenrückstand (TS / TM / TR)

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN 12880 DIN 38414-S2 (alt)	Handbuch der Bodenuntersuchung; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Wiegen der Probe, Trocknung bei (105±2)°C bis zur Gewichtskonstanz, erneutes Wiegen
DIN ISO 11465	Handbuch der Bodenuntersuchung	Wiegen der Probe, Trocknung bei (105±2)°C bis zur Gewichtskonstanz, erneutes Wiegen
VDLUFA MB III 3.1	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Futtermitteln	Wiegen der Probe, 4 Stunden Trocknung bei (103±2)°C bis zur Gewichtskonstanz, erneutes Wiegen
VDLUFA MB I 2.1.1	VDLUFA Methodenband I, Untersuchung von Böden	Wiegen der Probe, Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz, erneutes Wiegen

org. Trockensubstanz; org. Trockenmasse (oTS / oTM), Glühverlust, Asche

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN 12879 DIN 38414-S3 (alt)	Handbuch der Bodenuntersuchung; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Wiegen der Trockensubstanz, Veraschung bei 550°C, erneutes Wiegen TS – Asche = oTS
DIN 19684 Teil 3	Handbuch der Bodenuntersuchung	Wiegen der Trockensubstanz, Veraschung bei 550°C, erneutes Wiegen
VDLUFA MB III 8.1	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Futtermitteln	Wiegen der Trockensubstanz, Veraschung bei 550°C, erneutes Wiegen TS - Asche = oTS
VDLUFA MB III 8.2	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Futtermitteln	Salzsäureunlösliche Asche Wiegen der Trockensubstanz, Veraschung bei 550°C, mit siedender Salzsäure behandeln, filtrieren, trocknen, erneutes Wiegen TS - Asche = oTS
VDLUFA MB II 10.1	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Düngemitteln	Gravimetrisch, Veraschung bei 550°C (± 25°C)

Ammoniumstickstoff (NH₄-N)

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN 38406 E5-1	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	kolorimetrische Bestimmung
DIN 38406 E5-2	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Wasserdampfdestillation, anschließende Titration
VDLUFA MB II, 3.2.1	VDLUFA Methodenband II, Untersuchung von Düngemitteln	Wasserdampfdestillation mit Natronlauge, anschließende Titration
VDLUFA MB II, 3.2.2	VDLUFA Methodenband II, Untersuchung von Düngemitteln	Wasserdampfdestillation mit Magnesiumoxid, anschließende Titration
VDLUFA MB II, 3.2.6		elektrometrische Methode mit gas-sensitiver Ammoniakelktrode

Ammoniumstickstoff wird in der Praxis auch über Schnelltests oder mittels Ionenchromatographie bestimmt. Alle Schnelltests liefern jedoch nur einen Schätzwert und dienen nur der Orientierung.

pH

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN 38404-C5	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Elektrode
DIN 12176	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Elektrode

FOS/TAC

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
Nordmann Methode (FAL)	Biogas Journal 4/2006, S. 18-20; Burchard, C.H., Groche, D., Zerres, H.P., 2001. ATV Handbuch einfacher Messungen und Untersuchungen auf Klärwerken, 10. Auflage. Hirthammer Verlag München, S. 55	Titration

Der FOS/TAC wird in der Praxis auch auf unterschiedliche andere Arten bestimmt, z.B. FOS als wasserdampflichtige organische Säuren (DIN 38409 H 21) oder als Summe der chromatographisch ermittelten Säuren. Für den TAC wird beispielsweise DIN 38409 H 7 angegeben, die eine Bestimmung der Säurekapazität beschreibt. Die Ergebnisse der Analysen, die mit verschiedenen Methoden ermittelt wurden, sind nicht miteinander vergleichbar, ebenso ist bei einem Vergleich von Ergebnissen auch immer die Art der Probenvorbereitung zu beachten.

Essigsäureäquivalent (Summenparameter)

Methode	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN 38414 S19	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	Destillation, Titration
BGK MB Kap. C 3	Bundesgütegemeinschaft Kompost Methodenbuch	Bestimmung des Gesamtgehaltes an organischen Säuren

Flüchtige Fettsäuren im Einzelnachweis

In der Praxis werden die flüchtigen organischen Säuren meistens chromatographisch (GC, IC, HPLC) getrennt und mit unterschiedlichen Detektoren nachgewiesen. Es besteht jedoch keine einheitliche Methodenvorschrift für die Probenvorbereitung und die Analyse.

Spurenelemente (u.a. Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn)

Methoden	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN EN ISO 17294	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	ICP-MS
DIN EN ISO 11885	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	ICP-OES
VDLUFA MB III 11.1.2/11.3.2/11.4.2/11.5.2/11.6.1/2	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Futtermitteln	AAS (Fe, Cu, Mn, Zn, Se)
VDLUFA MB III 11.1.1/11.2.1/11.3.1/11.4.1/11.5.1	VDLUFA Methodenband III, Untersuchung von Futtermitteln	Photometrisch (Fe, Co, Cu, Mn, Zn,)

Bei der Bestimmung von Mineralstoffen und Spurenelementen wird instrumentelle Analytik wie z.B. Ionenchromatographie (IC), Atomabsorptionsspektroskopie (AAS), ICP-OES oder ICP-MS eingesetzt. Dabei ist eine sorgfältige Probenvorbereitung für die Analytik noch wichtiger als die Analyseverfahren selbst. Störende Begleitstoffe oder organische Matrixbestandteile sollten in der Probe möglichst weitgehend zerstört werden. Daher geht dem eigentlichen Messverfahren ein Aufschluss voraus. Für Fermenterinhalt werden in der Regel oxidierende Säureaufschlüsse verwendet. So z.B. der Aufschluss mit HNO₃, Königswasser oder HCl/H₂O₂ für Substanzen, die sich in oxidierenden Säuren lösen. Sollen allerdings auch säureunlösliche Verbindungen (z.B. in Silikate eingeschlossene Kationen) mit erfasst werden, muss der Aufschlusslösung HF zugesetzt werden. Beim Aufschluss von organischen Materialien wird gelegentlich auch der Ausdruck Nassveraschung verwendet, da die organischen Bestandteile zum Teil zu CO₂ und H₂O oxidiert werden.

Quecksilber (Hg)

Methoden	Enthalten in:	Kurze Beschreibung
DIN EN 1483	Handbuch der Bodenuntersuchung; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung	AAS

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern

Arbeitsgruppe III (Prozessbiologie, -bewertung und Analytik)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Substratbewertung
- Mikrobiologie und Chemie
- Analytik
- Prozesskontrolle
- Restgaspotenziale

Mitglieder der Arbeitsgruppe

- Agrarbildungszentrum Landsberg am Lech
- Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit
- Biogasanlagenbetreiber
- Conpower Energie GmbH
- f10 Forschungszentrum für Erneuerbare Energien
- Fachverband Biogas e.V.
- Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen
- Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V.
- Technische Universität München
Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie
- renergie Allgäu e.V.
- Wessling Laboratorien



Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising
Telefon: 08161/71-3460
Telefax: 08161/71-5307
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>
E-Mail: info@biogas-forum-bayern.de