

## **Einsatzstoffspezifische Besonderheiten in der Prozessführung**



**Nr. III – 18/2017**

---

Zusammengestellt von der Arbeitsgruppe III (Prozessbiologie, -bewertung und Analytik) im „Biogas Forum Bayern“ von:



**Dr. Konrad Koch**

Technische Universität München, Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft



**Matthias Post**

Wessling Laboratorien



**Markus Auer**

Maschinenring Tuttlingen-Stockach



**Dr. Michael Lebuhn**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Besonderheiten beim Einsatz von verschiedenen Substraten</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Ganzpflanzensilage</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>Geflügeltrockenkot</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Getreideschrot</b>	<b>4</b>
<b>2.4</b>	<b>Grassilage</b>	<b>5</b>
<b>2.5</b>	<b>Gülle</b>	<b>5</b>
<b>2.6</b>	<b>Körnermais</b>	<b>6</b>
<b>2.7</b>	<b>Landschaftspflegematerial</b>	<b>6</b>
<b>2.8</b>	<b>Maiskornsilage (CCM), Lieschkolbenschrot</b>	<b>7</b>
<b>2.9</b>	<b>Pferdemist</b>	<b>7</b>
<b>2.10</b>	<b>Rinderfestmist</b>	<b>7</b>
<b>2.11</b>	<b>Silomais</b>	<b>8</b>
<b>2.12</b>	<b>Stroh</b>	<b>8</b>
<b>2.13</b>	<b>Zuckerrübe</b>	<b>9</b>
<b>2.14</b>	<b>Zusätzliche Einsatzstoffe</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Referenzen</b>	<b>12</b>

## 1. Einleitung

Bei der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung kommen eine Vielzahl von sehr unterschiedlichen Reststoffen sowie Energiepflanzen zum Einsatz. Deren jeweilige Besonderheiten erfordern eine angepasste Prozessführung, die von den Substraten selbst, ihrem Mischungsverhältnis und von den Rahmenbedingungen (z.B. Gärtemperatur, Verweilzeit im Reaktor, etc.) abhängt.

Bei der Zusammenstellung der Einsatzstoffe sollte neben ihrer aktuellen Verfügbarkeit u.a. auch auf ein ausgewogenes Verhältnis aus Kohlenstoff und Stickstoff (C/N-Verhältnis) geachtet werden. Für den anaeroben Abbau sollte dieses im Bereich von 15:1 bis 30:1 liegen. Werden höhere Anteile stickstoffreicher Einsatzstoffe (z.B. Schweinegülle, Kleegrassilage) vergoren, sollte die Mischung mit kohlenstoffreichen Einsatzstoffen (z.B. Körnermaissilage, Zuckerrübe) als Co-Substrat ergänzt werden. Hierzu berät die vorliegende Fachinformation. Die vorgestellten Werte sind allerdings wegen ihrer Variabilität in den einzelnen Substrattypen eher qualitativer Natur (Tabelle 1) und sie sollten durch entsprechende Analysen der konkret vorliegenden Einsatzstoffe verifiziert werden, bevor Änderungen vorgenommen werden.

Eine Diversifizierung der Einsatzstoffmischung ist auch bezüglich der Spurenelementversorgung ratsam. Anlagen, die Spurenelementpräparate einsetzen, können den Zusatz zumindest reduzieren, wenn als Co-Substrate Einsatzstoffe verwendet werden, die den Prozess im ausreichenden Maße mit Spurenelementen versorgen. So sind tierische Exkremate häufig ein ausgezeichneter Spurenelementlieferant, da die Tiere in der Regel ausreichend mit allen nötigen Nährstoffen versorgt werden und nur ein Bruchteil der Nährstoffe dauerhaft im Körper gespeichert wird, während ein Großteil mit den Exkrementen wieder ausgeschieden wird. Auch in diesem Fall ist eine Aufschlüsselung der Konzentration relevanter Spurenelemente im geplanten Einsatzstoff durch ein Labor eine sinnvolle Investition.

## 2. Besonderheiten beim Einsatz von verschiedenen Substraten

Im Folgenden werden einige typische Substrate vorgestellt, die aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften eine angepasste Fahrweise des Fermenters erfordern. Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Anmerkungen sind außerdem primär als allgemeine Hinweise zu verstehen, auf die eine detaillierte Prüfung im Einzelfall aufbauen sollte.

### 2.1 Ganzpflanzensilage

Beim Einsatz von Ganzpflanzensilage ist bereits bei der Bergung auf sorgfältiges Häckseln (schneiden und nicht nur quetschen) zu achten, da sonst die Gefahr von Verstopfung bzw. Verzapfung in Förder- und Röhreinrichtungen besteht. Der Erntezeitpunkt bestimmt maßgeblich die Siliereigenschaften und beeinflusst den Gasertrag. Hinweise dazu sind den entsprechenden Fachinformationen der Arbeitsgruppe II zu entnehmen (vgl. Veröffentlichung [„Bereitung hochwertiger Silage: Die Grundlage für hohen Biogasertrag“](#)). Insbesondere bei einem vergleichsweise späten Erntezeitpunkt mit entsprechend hohem Trockensubstanzgehalt der Silage ist mit einem höheren Rühraufwand im Fermenter zu rechnen.

Die Quellfähigkeit der Körner sorgt insbesondere beim Einsatz von Roggen oder Hafer zur Produktion von Schleimstoffen (Pentosane), die zu einer verstärkten Schaumbildung (vgl. Fachinformation „[Schaum in Biogasanlagen](#)“) führen können. Im Gegensatz dazu tritt dies bei Weizen kaum auf. Als Gegenmaßnahme hat sich der Einsatz spezieller Enzyme (vgl. Veröffentlichung „[Marktübersicht Zusatz- und Hilfsstoffe in Biogasanlagen](#)“) bewährt. Vorsicht ist beim Einsatz verschimmelter bzw. verpilzter Chargen geboten (vgl. Veröffentlichung „[Handlungsempfehlungen zum Einsatz von verpilzten Einsatzstoffen als Biogassubstrat](#)“).

Während die meisten Getreidearten aufgrund des Stärkegehaltes eher über ein hohes C/N-Verhältnis verfügen (Tabelle 1), sind Leguminosen-dominierte Ganzpflanzensilagen wegen des hohen Proteinanteils in der Regel durch ein niedrigeres C/N-Verhältnis gekennzeichnet und potenziell für eine Hemmung durch freies Ammoniak anfälliger (insbesondere bei höheren Prozesstemperaturen und einem alkalischen pH-Wert).

## 2.2 Geflügeltrockenkot

Geflügeltrockenkot kann je nach Haltungsform der Tiere einen nicht unerheblichen Anteil an Inertmaterialien beinhalten, die im Fermenter zu unerwünschten Ablagerungen führen können. Vor allem Hühnertrockenkot kann einen relativ hohen Sandanteil haben. Ist keine apparative Einrichtung zum kontinuierlichen Austrag von Schwerstoffen aus dem Fermenter vorgesehen, kann der Einsatz eines hohen Anteils an Geflügeltrockenkot am Einsatzstoffmix zur Reduzierung des effektiven Faulraumvolumens bis hin zur Notwendigkeit einer Revision mit Auskoffnung der Ablagerungen führen. Der zu erwartende Inertanteil kann über den Glührückstand bestimmt werden.

Weiterhin droht bei einem relativ hohen Anteil von Geflügeltrockenkot an der Einsatzstoffmischung und/oder bei höheren Fermentertemperaturen eine Prozesshemmung durch Ammoniakbildung. Daher sollte Geflügeltrockenkot aufgrund seines hohen Stickstoffgehaltes und des damit verbundenen engen C/N-Verhältnisses (z.B. Hühnertrockenkot: 5:1; Tabelle 1) sinnvollerweise mit kohlenstoff-dominierten Einsatzstoffen kombiniert werden. Auch die typischerweise hohen Schwefelfrachten sollten wegen der damit verbundenen Bildung toxischen Schwefelwasserstoffs ( $H_2S$ ) nicht unterschätzt werden. Mögliche Gegenmaßnahmen sind beispielsweise der Einsatz von Eisenpräparaten oder die *in situ*-Entschwefelung durch Lufteinblasen (vgl. Veröffentlichung „[Entschwefelung von Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen](#)“). Das spezifische Biogaspotenzial ist gegenüber flüssigen Exkrementen aber deutlich höher, wobei eventuell vorhandene Futterreste einen deutlichen Beitrag liefern können.

## 2.3 Getreideschrot

Getreideschrot ist in der Handhabung mit Körnermais vergleichbar. Ein entsprechender Aufschluss durch Schrotten/Quetschen als Vorbehandlung ist unabdingbar, um den stärkehaltigen Mehlkörper leichter bioverfügbar zu machen. Die hohe Energiedichte bei gleichzeitig schneller Verfügbarkeit macht Getreideschrot zu einem idealen „Booster“ für die

flexible Biogasproduktion. Es erfordert jedoch auch eine angepasste Dosierung, da bei hohen Zugabemengen eine Übersäuerung des Prozesses droht.

Obleich die Stärke im Getreideschrot dominiert, wird diese sehr schnell abgebaut, weshalb das anfänglich mittlere C/N-Verhältnis (z.B. Weizenschrot: 20:1; Tabelle 1) mit der Zeit für einen erhöhten Ammoniumgehalt im Fermenter sorgen kann (Tabelle 2). Daher ist in diesem Fall die Kombination mit eher kohlenstoffreichen, schwer abbaubaren und eher wasserreichen Einsatzstoffen zu empfehlen. Vorsicht ist beim Einsatz von Nebenprodukten aus der Kornverarbeitung (z.B. Spreu vom Mahlen) geboten, da diese größere Mengen an Mykotoxinen (z.B. Deoxynivalenol, DON) enthalten können.

## 2.4 Grassilage

Als Gras wird häufig sämtliche auf Dauergrünland geborgene Biomasse zusammengefasst. Die daraus gewonnene Silage wird dementsprechend als Grassilage bezeichnet. Aufgrund der geringen Trennschärfe ist eine Verallgemeinerung mitunter schwierig, da neben den typischerweise dominierenden Süßgräsern auch ein nicht unerheblicher Anteil an Leguminosen im Bestand sein kann. Die Zusammensetzung der Pflanzendecke wird neben aktiven Maßnahmen wie Aussaat und Düngung in erster Linie durch die Standortbedingungen bestimmt. Bei einem Mix an sehr unterschiedlichen Arten kann die Wahl des optimalen Schnitzeitpunktes, die sowohl den Siliererfolg als auch den Gasertrag maßgeblich bestimmt, schwierig sein. In jedem Fall ist bei Ernte und Bergung eine Verletzung der Grasnarbe zu vermeiden, da einerseits der Bestand nachhaltig geschädigt werden kann und andererseits ein Bodeneintrag, der im Fermenter die Gefahr für Ablagerungen erhöht, zu einem höheren Inertanteil in der Silage sorgt. Zudem sollte bei der Bergung auf sorgfältiges Häckseln (schneiden und nicht nur quetschen) Wert gelegt werden, um Verzopfungen und Verstopfungen bei der Substratförderungen und der Fermenter-durchmischung vorzubeugen.

Bei einer grasdominierten Substratmischung besteht aufgrund des typischerweise hohen Proteingehaltes und damit eher niedrigen C/N-Verhältnisses (17:1, Tabelle 1) die Gefahr einer Hemmung durch Ammoniak, die durch hohe Prozesstemperaturen noch weiter verstärkt wird. Daher bietet sich eine Kombination mit kohlenstoffreichen Einsatzstoffen an. Durch den, gegenüber Süßgräsern meist höheren Proteingehalt beim Einsatz von Silagen aus Klee gras oder Leguminosen (Hülsenfrüchtler) ist eine weitere Verschärfung der Ammoniumproblematik bei der Vergärung möglich. Das relativ enge C/N-Verhältnis legt nahe, eine Kombination mit kohlenstoffdominierten Substraten wie Maissilage oder Zuckerrübe einzusetzen.

## 2.5 Gülle

Als Gülle werden häufig flüssige tierische Exkremete zusammengefasst, die in der Regel aus der Rinder- oder Schweinehaltung stammen. Aufgrund des ohnehin schon hohen Wassergehaltes ist eine weitere Verdünnung durch Regen- und/oder Spülwasser kaum empfehlenswert, da die Gasausbeute noch weiter sinken würde. Einem hohen Energieaufwand für die Erwärmung auf die Prozesstemperatur stehen wegen der geringen

Energiedichte auch bei kurzen Verweilzeiten eine nur niedrige organische Raumbelastung und eine geringe Gasausbeute gegenüber. Je nach Haltungsform können Futterreste das Biogaspotenzial jedoch deutlich anheben. Der hohe Wassergehalt wirkt sich allerdings positiv auf den Methangehalt des Biogases aus, der durch die höhere Löslichkeit des CO<sub>2</sub> in Wasser zuweilen über 60% liegt.

Eine unterschätzte Gefahr für die Fermenterbiologie besteht im Eintrag von Antibiotika oder Desinfektionsmitteln, was zu erheblichen Ertragseinbußen führen kann. Auch wurde bereits von Verstopfungen durch die Akkumulation von Horn, Ohrmarken, etc. in Rohrleitungen berichtet. Der hohe Stickstoffgehalt und das damit verbundene sehr enge C/N-Verhältnis (Hühnergülle: 4:1, Rindergülle: 8:1, Schweinegülle: 10:1; Tabelle 1) birgt die Gefahr einer Hemmung durch Ammoniak, weshalb eine Kombination mit kohlenstoffreichen Einsatzstoffen empfehlenswert ist.

## 2.6 Körnermais

Körnermais ist in der Handhabung dem Getreideschrot ähnlich. Erst eine Vorbehandlung durch Schroten/Quetschen schließt die Körner für den biologischen Abbau auf. Aufgrund der guten Lagerfähigkeit, der hohen Energiedichte und der schnellen Verfügbarkeit der Stärke eignet sich Körnermais bestens für das kurzfristige Ankurbeln der Biogasproduktion, beispielsweise im Rahmen einer bedarfsorientierten Prozessführung. Vorsicht ist allerdings bezüglich der Dosierung geboten, da bei großen Zugabemengen eine Übersäuerung des Prozesses droht. Das hohe C/N-Verhältnis von 31:1 (Tabelle 1) spricht für eine Kombination mit eher stickstoffreichen Einsatzstoffen wie Grassilage.

## 2.7 Landschaftspflegematerial

Die Bergung von Landschaftspflegematerial erfolgt in der Regel weniger mit dem Ziel der Biogaserzeugung, sondern vielmehr zur Nährstoffentnahme als Alternative zum Mulchen. Da die Biomasse meistens überständig geborgen wird und teilweise auch Buschwerk enthalten sein kann, ist Landschaftspflegematerial häufig schlecht silierbar und der Gasertrag ist insbesondere bei stark verkrautetem bzw. verholztem Material kaum mit dem einer typischen Grassilage vergleichbar. Ähnlich dem Einsatz von Stroh ist ein mechanischer Aufschluss anzuraten, um nicht nur den Biogasertrag durch die vergrößerte Angriffsfläche für die Mikroorganismen zu erhöhen, sondern auch um apparative Teile vor Verstopfungen und Verzopfungen zu schützen. Aufgrund der nahezu undefinierten Zusammensetzung des Materials sind Aussagen zum C/N-Verhältnis kaum möglich. Für Landschaftspflegegras wurde beispielsweise ein Wert von 22:1 angegeben (Tabelle 1). Vor dem Einsatz größerer Mengen an Landschaftspflegematerial in einer Biogasanlage sollten Für und Wider im Vorfeld gut abgewogen werden (vgl. Veröffentlichung [„Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial in Biogasanlagen“](#)).

## 2.8 Maiskornsilage (CCM), Lieschkolbenschrot

Bei der Maiskornsilage bzw. Corn-Cob-Mix (CCM) handelt es sich im Gegensatz zum Körnermais um eine Silage, die zwar anfänglich einen höheren Aufwand für die Silierung erfordert, später aber länger und kompakter gelagert werden kann. Eine Zerkleinerung vor der Zugabe in den Fermenter ist nicht mehr erforderlich. Neben den Maiskörnern ist in diesem Fall auch der Maiskolben mit verarbeitet, wobei die Bestandteile des Kolbens nicht ganz so schnell bioverfügbar sind.

Das C/N-Verhältnis von Maiskornsilage ist sehr weit und ergibt sich dann entsprechend aus dem des Körnermaises (31:1; Tabelle 1) sowie der Maisspindel (151:1; Tabelle 1). Auch die Maislieschen sind mit einem C/N-Verhältnis von 84:1 klar kohlenstoffdominiert. Maiskornsilage eignet sich ebenfalls gut für die bedarfsgerechte Biogasproduktion, sollte wegen der Versauerungsgefahr jedoch mit Bedacht eingesetzt werden. Zu bedenken ist auch, dass das C/N-Verhältnis nach dem schnellen Abbau der Stärke enger wird (Tabelle 2) und die Gefahr einer  $\text{NH}_3$ -Toxizität steigt (vgl. 2.3. Getreideschrot).

## 2.9 Pferdemist

Pferdemist zeichnet sich im Gegensatz zum Rinderfestmist durch einen hohen Anteil an Heu bzw. Stroh sowie an Inertmaterial (v.a. durch Sandeinstreu) aus; zuweilen finden sich sogar Störstoffe wie Hufeisen. Außerdem sind die Ausscheidungen fester und damit energiereicher als Rinderfestmist. Eine intensive mechanische Vorbehandlung sowohl zur Erhöhung des Gasertrages als auch zum Schutz der Anlagenbauteile ist deswegen enorm wichtig. Der Inertanteil kann selbst nach einer Vorbehandlung beträchtlich bleiben und zu Ablagerungen in der Anlage führen. Daher sollte bei einem größeren Anteil an Pferdemist im Einsatzstoffgemisch auf eine sehr gute Durchmischung des Fermenterinhaltens (Vermeidung der Ablagerung von Schwerstoffen) geachtet werden. Einige Anlagen verfügen über einen Schwerstoffabzug am Boden des Fermenters, was in diesem Fall vorteilhaft ist. Je nach Stroh- bzw. Heuanteil ist das C/N-Verhältnis (33:1; Tabelle 1) in der Regel eher weit und deutlich höher als jenes von Rinderfestmist oder Gülle.

## 2.10 Rinderfestmist

Rinderfestmist besitzt eine deutlich höhere Energiedichte und damit höhere potenzielle Gasausbeute als flüssige Gülle, jedoch sind die Exkremate weniger fest als jene der Pferde. Wegen des hohen Strohanteils ist häufig eine mechanische Vorzerkleinerung sinnvoll. Diese dient einerseits dem Aufschluss für den anaeroben Abbau, andererseits auch dem Schutz vor Verstopfungen und zur Vermeidung von Schwimmschichten, wie sie beim Einsatz langfaseriger Einsatzstoffe mitunter auftreten können. Je nach Haltungsart der Tiere ist ein höherer Ascheanteil durch Bodeneintrag möglich, was für die nachfolgende Behandlung einige Herausforderungen mit sich bringt und, wenn möglich, vermieden werden sollte.

Das typischerweise niedrige C/N-Verhältnis (13:1; Tabelle 1) bzw. der hohe Stickstoffgehalt sorgt beim Abbau für eine erhöhte Ammoniumkonzentration im Fermenter, wobei der freie

Ammoniak (v.a. bei thermophiler Fahrweise und hohen pH-Werten) zu einer schleichenden Hemmung des Abbauprozesses führen kann. Ähnlich dem Einsatz von Grassilage oder Gülle bietet sich in diesem Fall eine Kombination mit kohlenstoffreichen Einsatzstoffen wie Maissilage an (Tabelle 1).

## 2.11 Silomais

Maissilage ist in Deutschland immer noch der am meisten eingesetzte Einsatzstoff. Sie bringt einen sehr guten Methanertrag, sie ist gut silierbar, der Umgang mit ihr ist vergleichsweise unproblematisch und zum Betrieb mit Maissilage bestehen vielfältige Erfahrungen. Auch wenn der „Maisdeckel“ den Einsatz künftig begrenzt, wird Maissilage aus den genannten Gründen weiterhin ein bevorzugter Einsatzstoff sein.

Maissilage hat ein eher weites C/N-Verhältnis und eignet sich daher besonders zur Mischung mit eher proteinlastigen Substraten wie Grassilage oder auch Gülle. Mittlerweile wurde erkannt, dass der Betrieb mit hohen Anteilen an Maissilage auch Probleme verursacht. Maissilage ist relativ arm an Spurenelementen, insbesondere Kobalt, Selen und Nickel, aber auch Natrium geraten in Mangel (Lebuhn et al., 2008; Lebuhn et al; 2014). Aus diesem Grund wird der Prozess in der Praxis vielfach mit entsprechenden mineralischen Zusätzen versorgt, es besteht aber auch die Möglichkeit, die Futtermischung so zu gestalten, dass kein Mangel an den genannten Substanzen entsteht. Beispielsweise ist Grassilage meist reicher an den genannten Elementen und ist somit eine ideale Ergänzung für den Betrieb mit Maissilage.

## 2.12 Stroh

Stroh ist ein interessanter Einsatzstoff für Biogasanlagen, auch weil es als Nebenprodukt anfällt. Neben dem typischen Getreidestroh fallen auch bei der Mais- bzw. der Raps- bzw. der Rapsernte Mais- bzw. Rapsstroh an. Insbesondere bei der Bergung von Maisstroh kann es je nach Witterungsverhältnissen jedoch zu einem nicht unerheblichen Eintrag von Inertmaterial durch Bodenanhäufungen kommen (vgl. Veröffentlichung [„Körnermaisstroh als Biogassubstrat“](#)). Ein hohes Alter zum Erntezeitpunkt senkt den zu erwartenden Biogasertrag gegenüber Ganzpflanzensilage der gleichen Sorte erheblich. Die dominierende Lignocellulose-Struktur ist sehr schwer aufzubrechen und dementsprechend langsam verfügbar. Die Hydrolyse ist hier klar der geschwindigkeitsbestimmende Schritt beim Abbau. Eine Vorbehandlung ist unabdingbar, nicht nur um einen nennenswerten Biogasertrag zu erreichen, sondern auch um ein permanentes Aufschwimmen zu verhindern. Die verfügbaren Ansätze reichen von einfachen mechanischen Verfahren über thermische und chemische bis hin zu mikrobiologisch bzw. biochemischen Aufschlüssen, wobei der apparative und verfahrenstechnische Aufwand fallweise beträchtlich ist.

Das weite C/N-Verhältnis des Strohs (z.B. Weizenstroh: 70:1; Tabelle 1) macht es eigentlich zu einem idealen Partner stickstoffdominierter Einsatzstoffe. Der schwierige Aufschluss mit dem aktuell noch relativ hohen apparativen Aufwand trägt allerdings dazu bei, dass Stroh heutzutage nur in vergleichsweise geringen Mengen in der Einsatzstoffmischung genutzt wird.



### 2.13 Zuckerrübe

Die Zuckerrübe (zuweilen auch die Futterrübe) wird für die Biogaserzeugung in den letzten Jahren zunehmend genutzt. Sie weist aber einige Besonderheiten auf. So sollte der Inertanteil durch sorgfältige Bergung und ggf. Reinigung so gering wie möglich gehalten werden und auch bei der Lagerung/Silierung gilt es einiges zu beachten (vgl. Veröffentlichung [„Rüben als Biogassubstrat? Überblick über Verfahrenswege \(Transport, Aufbereitung, Lagerung\)“](#)). Der hohe Zuckergehalt ist sehr schnell bioverfügbar, weshalb Zuckerrüben sehr gut für die bedarfsgerechte Gasproduktion geeignet sind. Allerdings kann der Biogasprozess bei einer Überdosierung schnell aus dem Gleichgewicht geraten und übersäuern. Dieser Effekt kann bei kurzen Verweilzeiten im Fermenter noch verstärkt werden, wobei der hohe Wassergehalt der Zuckerrübe zu einer Auswaschung von aktiven, aber langsam wachsenden Mikroorganismen führen kann. Erfahrungen mit der Monovergärung von Zuckerrüben haben außerdem gezeigt, dass die Versorgung der Biozönose mit essenziellen Spurenelementen mangelhaft ist. Mittels eines ausgewogenen Einsatzstoffmixes bzw. durch die Zugabe geeigneter Präparate kann jedoch entsprechend gegengesteuert werden.

Eine Kombination mit ohnehin flüssigen Einsatzstoffen (beispielsweise Gülle) ist weniger zu empfehlen. Aufgrund des sehr hohen C/N-Verhältnisses (50:1; Tabelle 1) bieten sich v.a. langsam verfügbare, relativ trockene und stickstoffhaltige Einsatzstoffe wie Geflügeltrockenkot oder Grassilage oder auch Zuckerrübensilage als Co-Substrat an.

### 2.14 Zusätzliche Einsatzstoffe

Neben den genannten gibt es noch eine Reihe von Einsatzstoffen, die bisher weniger populär sind. Dazu zählen Miscanthus (vgl. Veröffentlichung [„Eignet sich Miscanthus als Biogassubstrat?“](#)), hohes Weizenras (vgl. Veröffentlichung [„Hohes Weizenras als Biogassubstrat“](#)), Buchweizen (vgl. Veröffentlichung [„Buchweizen als Biogassubstrat“](#)), Durchwachsene Silphie (vgl. Veröffentlichung [„Durchwachsene Silphie als Biogassubstrat“](#)), Amarant (vgl. Veröffentlichung [„Amarant als Biogassubstrat“](#)), Sorghum / Sudangras (vgl. Veröffentlichung [„Sorghum für die Verwendung in Biogasanlagen“](#)) sowie Birtreber, Sonnenblume, Szarvasi-Gras / Hirschgras oder auch Blümmischungen.

Alle diese Pflanzen bzw. Einsatzstoffe bieten Vor- und Nachteile. Manche eignen sich weniger für unser Klima, manche sind nicht gut silierbar und andere bereiten in der Vorbehandlung Probleme. Züchterische Erfolge und methodische Anpassungen könnten aber künftig einen Einsatz zur Biogasproduktion attraktiver machen.

### 3. Zusammenfassung

Jeder Einsatzstoff zeichnet sich durch seine eigenen Besonderheiten bei der Prozessführung aus, wobei für die Prozessstabilität und damit für eine hohe Leistungsfähigkeit der Anlage das C/N-Verhältnis ein einatzstoffübergreifend wichtiger Parameter ist. Um ein für den anaeroben Abbau optimales C/N-Verhältnis von 15:1 bis 30:1 im Einsatzstoffmix zu erreichen, sollte auf ein ausgewogenes Verhältnis der einzelnen Einsatzstoffe geachtet werden. In Tabelle 1 sind dafür typische C/N-Verhältnisse für verschiedene Einsatzstoffe aufgeführt und aus Tabelle 2 lässt sich ersehen, wie sich die C/N-Verhältnisse im Verlauf der Vergärung verändern. Diese Daten können als erste Orientierung für eine substratspezifisch angepasste Prozessführung dienen. Insbesondere die Kombination von eher langsam verfügbaren Einsatzstoffen als Grundsubstrat mit der kurzfristigen Zugabe schnell verfügbarer Einsatzstoffe (z.B. Zuckerrübe, Getreideschrot) kann ein interessanter Ansatz für die bedarfsorientierte Biogasbereitstellung sein (Mauky *et al.*, 2016).

Tabelle 1: Typische C/N-Verhältnisse landwirtschaftlicher Einsatzstoffe

<b>Einsatzstoff</b>	<b>C/N</b>	<b>Referenz</b>
Flüssigmist (Huhn)	4:1	KTBL (2009)
Hühnertrockenkot	5:1	KTBL (2009)
Flüssigmist (Rind)	8:1	KTBL (2009)
Schweinegülle	10:1	Amon <i>et al.</i> (2007), Ohly (2006)
Festmist	13:1	KTBL (2009)
Grassilage	17:1	Ohly (2006)
Kleegrassilage	17:1	Amon <i>et al.</i> (2007), Ohly (2006)
Grünroggensilage	20:1	Amon <i>et al.</i> (2007)
Weizenschrot	20:1	Ohly (2006)
Landschaftspflegegras	22:1	Ohly (2006)
Gerstenschrot	23:1	Ohly (2006)
Körnerleguminosen	27:1	LfULG (2015)
Körnermais	31:1	Minihuber (2007)
Pferdemist	33:1	LfULG (2011)
Maissilage	35:1	Amon <i>et al.</i> (2007), Ohly (2006)
Kartoffeln	44:1	Ohly (2006)
Zuckerrübensilage	50:1	Amon <i>et al.</i> (2007)
Maislieschen	84:1	Minihuber (2007)
Weizenstroh	70:1	Ohly (2006)
Maisspindel	151:1	Minihuber (2007)

Tabelle 2: Änderung der C/N-Verhältnisse landwirtschaftlicher Einsatzstoffe im Gärprozess

Einsatzstoff	TM-Gehalt	oTM-Gehalt	N <sub>Gesamt</sub> -Gehalt im Gärrest	C/N-Verhältnis im Inputmaterial	C/N-Verhältnis im Gärrest	Gasertrag	Gasertrag
	(% FM)	(% oTM)	(kg/m <sup>3</sup> )	(-)	(-)	(NL/kg oTM)	(NL/kgFM)
Geflügelmist	40	75	22	10	3	500	150
Rindermist	25	85	9,1	13	5	450	96
Rindergülle	8	80	5,1	7	4	280	18
Schweinegülle	6	80	5,7	5	2	400	19
Getreidekörner (Roggen)	87	94	62	25	2	700	572
Getreide GPS	35	94	7,2	27 (bis 38)	8	520	171
Grassilage	35	90	7,1	28	5	600	189
CCM	65	98	25	29	0,8	730	465
Zuckerrübe	23	90	2,2	55	3	700	145
Stroh	86	90	8,5	74	31	400	310
Maissilage	33	95	5,2	37	5	650	204

Quelle: Matthias Post, Wessling Laboratorien (2017); NL: Norm-Liter

#### 4. Referenzen

- Amon, T.; Machmüller, A.; Kryvoruchko, V.; Milovanovic, D.; Hrbek, R.; Eder, M. W.; Stürmer, B. (2007): *Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark*. Forschungsbericht der Universität für Bodenkultur Wien.  
[http://www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73300/pub/Biolandbau/2007\\_Endbericht\\_BMLFUW1421\\_Steiermark.pdf](http://www.wiso.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73300/pub/Biolandbau/2007_Endbericht_BMLFUW1421_Steiermark.pdf).
- KTBL (2009): *Faustzahlen für die Landwirtschaft*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt. ISBN: 978-3-939371-91-5.  
<https://www.ktbl.de/shop/produktkatalog/show/Product/19494/>
- Lebuhn, M.; Liu, F.; Heuwinkel, H.; Gronauer, A. (2008): *Biogas production from mono-digestion of maize silage – long-term process stability and requirements*. Water Sci. Tech. 58(8), 1645-1651.  
[https://www.researchgate.net/publication/23466202\\_Biogas\\_production\\_from\\_mono-digestion\\_of\\_maize\\_silage-long-term\\_process\\_stability\\_and\\_requirements](https://www.researchgate.net/publication/23466202_Biogas_production_from_mono-digestion_of_maize_silage-long-term_process_stability_and_requirements)
- Lebuhn, M.; Munk, B.; Effenberger, M. (2014): *Agricultural biogas production in Germany - from practice to microbiology basics*. Energy, Sustain. Soc. 4/10, DOI:10.1186/2192-0567-4-10, pp. 21  
<https://energysustainsoc.springeropen.com/articles/10.1186/2192-0567-4-10>
- LfULG (2011): *Berichte aus dem Ökolandbau*. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden.  
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23862/documents/32704>
- LfULG (2015): *Leitfaden zur Humusversorgung - Informationen für Praxis, Beratung und Schulung*. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden.  
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25484/documents/35267>
- Mauky, E.; Barchmann, T.; Weinrich, S.; Jacobi, H. F.; Nägele, H.-J.; Liebetrau, J. (2016): *Flexibel füttern - Bedarfsgerecht Biogasstrom produzieren*. Biogas Journal 19 (6), 88 - 93.
- Minihuber, J. (2007): *Eignung verschiedener Energiemaissortentypen zur Biogaserzeugung unter den Standortbedingungen des nordöstlichen Hausruckviertels*. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Department für nachhaltige Agrarsysteme.  
[https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?dataset\\_id=6488&property\\_id=107](https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/download.php?dataset_id=6488&property_id=107)
- Ohly, N. (2006): *Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen*. Dissertation, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik.  
<http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/2180/MaschinenbauOhlyNiils207427.pdf>

**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**

- **Atres**
- **Bayerisches Landesamt für Arbeitsschutz, Arbeitsmedizin und Sicherheitstechnik**
- **Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit**
- **Biogasanlagenbetreiber**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft**  
Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
- **Maschinenring Tuttlingen Stockach GmbH**
- **renergie Allgäu e.V.**
- **Technische Universität München**
- **UGN Umwelttechnik GmbH**
- **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](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)