

Aufbereiten bringt mehr Gas

Wie und vor allem wie schnell die Mikroben faserreiche Substrate abbauen können, hängt stark von der vorherigen Aufbereitung ab. Vor allem ein Stoff kann Substrate sehr widerstandsfähig machen. Das Motto lautet: Fasern zerfasern.

Es ist die Lignocellulose, die die Pflanzenzellwand stabilisiert und vor dem mikrobiellen Abbau schützt. Vor allem in faserreichen Rohstoffen wie Gras oder Stroh ist der sehr widerstandsfähige Stoff angereichert. Wer zuvor den stabilen Verbund der Lignocellulose auflöst, sorgt für eine vergrößerte Oberfläche und die Biogasmikroben können den Cellulose-Anteil des Materials dann besser zersetzen. Das beschleunigt nicht nur die Gasproduktion – sie steigt sogar an. Außerdem nehmen Viskosität und die Neigung zur Schwimmdeckenbildung ab.

In der Landwirtschaft werden für die Substratvorbehandlung vor allem physikalische Verfahren angewandt. Dazu zählen thermische und mechanische Methoden. Biologischen Methoden wie Pilz-, Enzym- oder Bakterienkultureinsatz wird ein großes Potenzial nachgesagt.

Wie gut die einzelnen Verfahren wirken, haben unabhängige Forschungseinrichtungen geprüft. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen werden hier zusammengefasst. Meist handelt es sich um Resultate aus Laborversuchen unter kontrollierten Bedingungen. Doch selbst wenn die Ergebnisse aus diesem Grund nicht direkt in die Praxis übertragbar sind, beschreiben sie die prinzipielle Wirksamkeit der unterschiedlichen Methoden.

Physikalische Verfahren

- **Zerschneiden:** Ein einfaches physikalisches Verfahren ist das Zerschneiden durch mehrere Messer, die auf einer rotierenden Welle angeordnet sind. Eine verbreitete Methode in Biogasanlagen ist das Zerschneiden mit einem in die Substratleitung integrierten Lochscheibenzerkleinerer mit Störstoffabscheider. Die Technik ist vergleichsweise günstig, kann relativ leicht in bestehende Anlagen integriert werden, verringert nachweislich die Viskosität und senkt so den Energieaufwand für Rühr- und Pumpvorgänge. Die Kombination mit einer Flüssigfütterung ist sinnvoll, da so weniger Material behandelt werden muss. Im Biogasbereich ist von einem Durchsatz von 250 m³ pro Stunde auszugehen; die elektrische Anschlussleistung liegt zwischen 2 und 18 kW. Versuche mit zerschnittenem Material brachten



FOTO: HELMUT SUSS

Eine Schwimmdeckenbildung ist vor allem zu beobachten, wenn die Gärsubstrate nicht entsprechend aufbereitet wurden.

Gasertragssteigerungen zwischen 10 % bei Heu und bis zu 25 % bei Sisalfasern.

- **Zerfasern/Zerreißen mit Querstromzersetzer:** In Versuchen mit dieser Technik, bei der das Material mittels einer rotierenden Kette gegen die Innenwand eines zylindrischen Behälters geschleudert und so aufgebrochen wird, wurde eine Verbesserung der Rieselfähigkeit nachgewiesen. Eine 15 Sekunden lange Anwendung auf ein Gemenge von Gras, Mais, GPS und Pferdemit steigerte den Gasertrag um 10 %. Längere Behandlungszeiten brachten keine weitere Verbesserung. Bei der Anwendung auf Mais- und Szarvasigrassilage konnte ein Mehrertrag von 7 % nachgewiesen werden. Andere Untersuchungen zeigten dagegen, dass die Behandlung von leicht abbaubaren Rohstoffen zu einem Rückgang der Gaserträge führen kann. Das wird auf Verluste von flüchtigen Fettsäuren zurückgeführt, die durch

diesem Verfahren ist die Technik in die Gülleleitung integriert. Die zu behandelnde Gärsuspension muss dabei einen schmalen Spalt passieren, der zwischen einer rotierenden Zahnscheibe und einer Trommel gebildet wird. Das zu behandelnde Material wird dabei zerrissen. Spaltgröße und Substratbeschaffenheit entscheiden über Behandlungsintensität und Durchsatz. Letzterer ist außerdem abhängig von der technischen Ausführung durch die verschiedenen Anbieter und variiert zwischen 20 und 500 m³ Biomasse pro Stunde. Unabhängige Untersuchungen ergaben positive Effekte bei der Behandlung von Mais, Szarvasigras und Rindermist. Die Gasertragssteigerungen variierten von 6 % (Mais) bis 11 % (Rindermist). Da es sich um ein geschlossenes System handelt, sind keine Ertragseinbußen durch Fettsäureverluste bei leicht abbaubaren Substraten zu befürchten.

- **Zerfasern/Zerplatzen mit Extruder:** Die zu behandelnde Biomasse wird durch gegenläufige Schnecken gegen einen Widerstand gedrückt und durch die hohen Scherkräfte aufgefasernt. Gleichzeitig entstehen hohe Temperaturen und Drücke in der Zellflüssigkeit. Durch die schlagartige Entspannung entsteht Wasserdampf, der die Zellen zum Platzen bringt. Die Extrudertechnik wird mit Anschlussleistungen zwischen 22 und 110 kW angeboten, in Abhängigkeit der Substratart können stündlich bis zu 6 t Material behandelt werden. Bei der Prüfung dieses Verfahrens kommen einzelne Forschungseinrichtungen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Der beobachtete Mehrertrag an Biogas bei der Behandlung von Grassilage schwankt zwischen 8 und 26 %, bei Mais zwischen 5 und 14 %.

- **Elektrokinetik:** Bei diesem Verfahren werden die Zellmembranen durch Polarisierung durchlässig gemacht, sodass osmotische Kräfte die Zellen zum Platzen bringen können und der Zellinhalt für den enzymatischen und mikrobiellen Abbau freigesetzt wird. Bei einer Prüfung des Verfahrens an der LfL Bayern konnte eine Gasertragssteigerung statistisch nicht nachgewiesen werden. In der Praxis dagegen konnte durch die Behandlung bei gleichbleibender Gas-

Auf einen Blick

- In der Praxis sind Verfahren zum verbesserten Aufschluss lignocellulosereicher Biomasse weit verbreitet.
- Bei vielen dieser Methoden wurde ein positiver Einfluss auf Abbau und Gasausbeute wissenschaftlich nachgewiesen. Dies betrifft nahezu alle hier genannten physikalischen Verfahren, aber auch den Einsatz von Enzymen.
- Die Forschung bezüglich des Einsatzes von Mikroorganismen bzw. aeroben und anaeroben Pilzen befindet sich derzeit noch im Anfangsstadium, wird aber intensiv betrieben.

die entstehenden hohen Temperaturen verursacht werden. Die Querstromzersetzung ist energieaufwändig, aber unempfindlich gegen Störstoffe. Der stündliche Durchsatz bei 75 kW Nennleistung ist substratabhängig und schwankt zwischen 2 t (Grassilage) und 6 t (Maissilage).

- **Rotierende Zahnscheiben:** Bei

Fortsetzung auf Seite 38

ANZEIGE



Aufbereiten bringt ...

Fortsetzung von Seite 37

bildung 5 % Mais eingespart werden. Gleichzeitig sank der Rühraufwand deutlich, was zu einer Abnahme des Eigenstromverbrauchs um 20 % führte. Das System kann stündlich bis zu 200 m³ Material bewältigen. Für eine 500 kW Anlage reichen drei bis vier Module aus, die dann insgesamt eine Anschlussleistung von nur 0,2 kW aufweisen. Damit ist der Energiebedarf der elektrokinetischen Einheit sehr gering. Dieser steigt aber durch die zum Schutz vor Verstopfungen empfohlene, vorgeschaltete mechanische Zerkleinerung wieder an.

- **Ultraschall:** Hier entstehen durch implodierende Hohlräume (sogenannte Kavitationsblasen) innerhalb der Zellen kurzzeitig hohe Temperaturen und Drücke, wodurch die Zellen platzen. Das Verfahren wird aufgrund der besseren Schallübertragung ausschließlich zur Behandlung von flüssigen Medien eingesetzt. Stündlich werden wenige Kubikmeter Fermenter- oder Nachgärermaterial durch einen Bypass gepumpt, in dem ein Ultraschallaggregat integriert ist. Nach der Behandlung wird das Gärgemisch in der Regel in die erste Gärstufe zurückgeführt. Im Labor konnte nachgewiesen werden, dass die Gasausbeute von behandeltem Fermenterinhalt im Vergleich zur unbehandelten Variante um bis zu 20 % höher ausfiel. Eine mechanische Vorbehandlung zur Vermeidung von Verstopfungen wird auch hier empfohlen. Der Energieaufwand für die Beschallung liegt bei 5 bis 10 kWh pro m³ Substrat. Der Verbrauch der Nebenaggregate (Pumpe, Feststoffzerkleinerer) ist hier mit eingeschlossen.

- **Hydrodynamische Kavitation:** Zellschädigende Kavitationsblasen werden bei diesem Verfahren erzeugt, indem das Gärgemisch mit 8 bis 10 bar durch eine Düse gepresst wird oder ein schnell drehender Rotor große Druckdifferenzen zwischen Zu- und Ablauf erzeugt. Der Kavitationseffekt ist derselbe wie bei der Ultraschallbehandlung. Die durch die platzenden Blasen erzeugten Kräfte schädigen die Zellstrukturen, wodurch Enzyme freigesetzt und stabile Zellbestandteile für den biologischen Abbau zugänglich gemacht werden. Anwender berichten von homogenerem Substrat, höheren Gasausbeuten und reduziertem Rühraufwand. Es konnte kein Forschungsvorhaben recherchiert werden, in der die Effektivität des Verfahrens von wissenschaftlicher Seite überprüft wurde.

Biogasanlagen werden oft mit faserreichen Rohstoffen bestückt, diese sind oft sehr widerstandsfähig. Durch Substrataufbereitung soll der stabile Verbund der Lignocellulose aufgelöst werden.



FOTO: HELMUT SÜSS

- **Dampfexplosion:** Das Verfahren eignet sich besonders für landwirtschaftliche Reststoffe mit hohem Anteil an Lignocellulose (z. B. Stroh). Diese werden einer druckunterstützten Dampfbehandlung unterzogen. Durch rasches Entspannen und Abkühlen wird die geordnete Zellstruktur zerstört, ein großer Teil der Hemicellulose gelöst und für den mikrobiellen Abbau verfügbar gemacht. Die Methode zeichnet sich dadurch aus, dass im Vergleich zu mechanischen Verfahren deutlich weniger Energie aufzuwenden ist, um den gleichen Zerkleinerungsgrad zu erreichen. Auch aufgrund der kurzen Behandlungsdauer gilt dieses Verfahren deshalb als vergleichsweise kosteneffektiv. Nachteilig ist die mögliche Bildung von Hemmstoffen ab einer Temperatur von 160 °C, die zu einer Abnahme der Gasausbeute führen kann. In Versuchen mit Triticale-Ganzpflanzen und Triticalestroh wurden zwischen 18 und 34 % höhere Gaserträge festgestellt.

Biologische Verfahren

Bei der noch wenig untersuchten biologischen Vorbehandlung mit Mikroorganismen werden lebende Bakterien oder Pilze eingesetzt. Diese bilden Enzyme, die Lignocellulose angreifen können. Pilze können durch ihre Hyphen zusätzlich auch einen physikalischen Abbau bewirken. In der Folge wird die Lignin-Struktur verändert und die Löslichkeit u. a. von Cellulose, Hemicellulose und Lignin verbessert.

- **Bakterienkulturen:** Um eine möglichst effektive mikrobielle Vorbehandlung zu erzielen, verspricht ein Einsatz von mikrobiellen Konsortien mit Spezialisten für die einzelnen Aufschlusschritte den größten Erfolg. An der LfL wurde die Wirkung von Bakterienkulturen auf Gras- und Maissilage geprüft und eine verstärk-

te Säurebildung festgestellt. Die Kulturen starben jedoch schnell ab. Daraus folgt, dass der Bakterieneinsatz eine an die Lebensbedingungen der Kulturen angepasste Vorstufe erfordert.

- **Vorbehandlung mit Pilzen:** Pilze können lignocellulolytische Enzyme produzieren, Fasern mechanisch aufschließen und in Synergie mit Bakterien leben. Ihre Anwendung auf faserreiche Substrate ist deshalb naheliegend. Bei aeroben Arten können allerdings Veratmungsverluste auftreten.

Einige Pilzgruppen wurden zur Vorbehandlung von Bioabfall unter aeroben und zur Vorbehandlung von Maissilage und Rohrkolben sowie Heu unter anaeroben Bedingungen untersucht. Pilze ließen sich auch zum weiteren Aufschluss abgepresster Gärrestfasern nutzen. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass anaerobe Pilze die Gasproduktion beschleunigen, eine Steigerung der Gasausbeute konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Allerdings wurden bisher nur einige wenige Pilzarten geprüft. Die Wirksamkeit weiterer anaerober Pilze wird derzeit intensiv untersucht. Es bedarf aber sicher noch einige Jahre Entwicklung vor substantiellen Erfolgsmeldungen.

- **Enzymeinsatz:** Als biologische Katalysatoren ermöglichen oder beschleunigen Enzyme Abbauvorgänge. Für den Biogasbereich werden sie industriell hergestellt und da sie nicht vermehrungsfähig sind und von Mikroorganismen abgebaut werden, müssen sie kontinuierlich zugesetzt werden, um ihre Wirkung auf Einsatzstoffe oder Fermenterinhalt entfalten zu können. Mehrere Studien berichten davon, dass durch einen Enzymeinsatz die Gasausbeuten bei Weizenstroh und Gras erhöht werden konnten. Stabile Fermenterbiologien produzieren selbst ausreichend

viele Enzyme. Allerdings bei Hinweisen auf einen reduzierten Substrataufschluss (Schwimmdeckenbildung, erhöhter Rühraufwand), kann der Einsatz spezifischer Enzympräparate unerlässlich oder zumindest von Nutzen sein. In der Fachinformation des Biogas Forum Bayern „Marktübersicht Zusatz- und Hilfsstoffe in Biogasanlagen“ findet sich eine Zusammenstellung von Enzymherstellern.

Auswahlkriterien

Entscheidendes Auswahlkriterium eines Aufbereitungsverfahrens ist die Integrierbarkeit in die Anlagenstruktur sowie die Eigenschaften der zu behandelnden Biomasse. Bei hohem Störstoffanteil ist ein mechanisch unempfindliches Verfahren vorzuziehen. Ansonsten droht ein hoher Wartungsaufwand. Müssen hochviskose, faserreiche Suspensionen für die Aufbereitung niedrige Rohrquerschnitte passieren, sind vorgeschaltete mechanische Zerkleinerungseinheiten zur Vorbeugung von Verstopfungen ratsam.

Eine erfolgreiche Aufbereitung kann Substrat und elektrische Energie für Pump- und Rührvorgänge einsparen. Sie schont technische Einrichtungen (Rührwerke, Pumpen) und reduziert dadurch den Wartungsaufwand. Über die Kosteneffizienz entscheiden vor allem Anschaffungs- und Betriebskosten. Für alle der genannten Verfahren gilt deshalb, dass vor der Anschaffung der Aufwand dem zu erwartenden Nutzen gegenübergestellt und bewertet werden sollte.

Rainer Kissel

LfL Landtechnik, Freising
Biogas Forum Bayern

→ Die weiterführende Fachinformation „Substrataufbereitung“ des Biogas Forum Bayern gibt es kostenlos unter www.biogas-forum-bayern.de.