

# Feststoffeintragssysteme an Biogasanlagen



[www.biogas-forum-bayern.de/bfb5](http://www.biogas-forum-bayern.de/bfb5)

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

**Gabriel Streicher,  
Dr. Mathias Effenberger**  
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Dr. Markus Helm,**

Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH

## Foren der ALB Bayern e.V.

ALB-Arbeitsblätter, ALB-Beratungsblätter, ALB-Infobriefe, ALB-Leitfäden und Fachinformationen werden in den Foren der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. ausgearbeitet.

Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung in die landwirtschaftliche Praxis.

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Landwirtschaftliches Bau Forum (LBF),  
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Biogas Forum Bayern (BFB),  
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LF),  
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL-ILT

## Förderer



Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft



Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

## Impressum

Herausgeber      Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB),  
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising  
Telefon:      08161 / 71-3460  
Telefax:      08161 / 71-5307  
E-Mail:      info@alb-bayern.de  
Internet:      www.alb-bayern.de

1. Auflage      2019  
© ALB      Alle Rechte vorbehalten  
Bildquelle Titelfoto LfL

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Vorbemerkung .....	5
2. Basisinformationen zur Einbringtechnik für Feststoffe in Biogasanlagen .....	5
3. Beschreibung der wichtigsten Systemkomponenten.....	6
3.1 Feststoffvorlagebehälter.....	8
3.1.1 Vorlagebehälter ohne Intensiv-Mischwerkzeuge.....	10
3.1.2 Vorlagebehälter mit Intensiv-Mischwerkzeuge.....	10
3.2 Austragsorgane.....	11
3.3 Eintragssysteme .....	13
3.3.1 Feststoff-Trocken-Eintragssysteme .....	13
3.3.2 Feststoff-Flüssig-Eintragssysteme .....	14
4. Werkstoffauswahl.....	15
5 Energiebedarf unterschiedlicher Feststoffeinträge.....	16
5.1 Feststoffvorlagebehälter mit Austrageinheit .....	16
5.1.1 Hilfestellung für die Systemauswahl und Auslegung von Feststoffvorlagebehältern .....	18
5.2 Einbringssysteme .....	19
5.2.1 Hilfestellung für die Systemauswahl und Auslegung von Feststoffeintragssystemen.....	21

## Vorbemerkung

Die vorliegende Schrift soll Planern und Betreibern von Biogasanlagen als Hilfestellung für die Auswahl geeigneter Systeme zur Einbringung von Feststoffen in Biogasanlagen dienen. In knapper Form wird die am häufigsten verwendete Verfahrenstechnik

beschrieben und auf dem Hintergrund von Expertenwissen sowie Praxiserfahrungen bewertet. Die Schrift kann und soll dabei keine erschöpfende Darstellung des Standes der Technik von Feststoffeintragssystemen für Biogasanlagen geben.

## 2. Basisinformationen zur Einbringtechnik für Feststoffe

Mit dem in der EEG Novelle 2004 eingeführten „NawaRo–Bonus“ wurde ein finanzieller Anreiz geschaffen, nachwachsende Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Energieerzeugung zu nutzen. Diese finanzielle Förderung führte in Verbindung mit niedrigen Marktpreisen für pflanzliche Erzeugnisse zu einem raschen Anstieg des Einsatzes von Energiepflanzen zur Biogasproduktion, wodurch enorme Steigerungen der realisierten elektrischen BHKW - Leistungen ermöglicht wurden.

Mit der EEG Novelle im Jahr 2012 begann der Gesetzgeber schließlich wieder in Richtung des verstärkten Einsatzes von Reststoffen wie beispielsweise feste Wirtschaftsdünger (Mist) oder Stroh zur Biogaserzeugung umzusteuern. Sowohl die mit entsprechender Verfahrenstechnik geernteten Energiepflanzen als auch stapelbare Reststoffe können unter dem Begriff Schüttgüter oder Feststoffe zusammengefasst werden. Diese Stoffe werden in der Regel in Fahrsiloplanlagen konserviert bzw. zwischengelagert, um von dort dem Gärprozess zugeführt zu werden.

Die Biomasse mengen, die hierfür in die Gärbehälter eingetragen werden müssen, sind nicht unerheblich: Um eine durchschnittliche elektrische BHKW-Leistung von 100 kW zu realisieren, muss beispielsweise eine Menge von etwa 6,8 t Maissilage oder 10 t Rindermist täglich dem Gärprozess zugeführt werden.

Zur Vermeidung von Stoßbelastungen der Gärbiologie sollte die Biomasse in kleineren Chargen möglichst gleichmäßig über den Tag verteilt dem Gärprozess zugegeben werden. In der Praxis haben sich – je nach Anlagengröße und erforderlicher Substrateintragsmenge – Fütterungsintervalle von einer halben Stunde bis zu zwei Stunden als geeignet erwiesen. Um den Bedarf an Gasspeicherkapazität auf Biogasanlagen, die Regelleistung erbringen oder Strom nach Fahrplan in das Stromnetz einspeisen wollen (Stichwort „Flexibilisierung“), zu verringern, kann eine ungleichmäßige, bedarfsorientierte Futterzugabe erfolgen. Wie sich dies kurz- und längerfristig auf die Stabilität der Gärbiologie auswirkt, ist derzeit noch Gegenstand der Forschung.

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen sollte das Feststoffeintragssystem von Biogasanlagen über einen ausreichend groß dimensionierten Vorratsbehälter zur Zwischenlagerung der festen Biomasse aus dem Fahr silo verfügen. In Abhängigkeit von Beschaffenheit (Partikelgröße, Faseranteil, TS - Gehalt, etc.) und Zusammensetzung der Einsatzstoffe sollte der Feststoffeintrag insbesondere in der Lage sein, die evtl. zu größeren Klumpen verklebte Biomasse aufzulösen bzw. -lockern und zu durchmischen, bevor diese in den Gärbehälter eingebracht wird.

Bedingt durch die Novellierung des EEG im Jahr 2014 und 2017 ist zwar die Anzahl an

Neubauten insbesondere größerer Biogasanlagen stark zurückgegangen, jedoch sind etliche Feststoffeintragssysteme von Bestandsanlagen bereits so verschlissen, dass sie ausgetauscht werden müssen. Viele der einzubringenden Feststoffe beanspruchen die metallischen Oberflächen und Förderorgane von Feststoffeintragssystemen durch ihren niedrigen pH-Wert (diverse Silagen), Anhaftungen von Bodenpartikeln (v.a. Gras oder Zuckerrüben) oder ihre langfaserige Struktur (v.a. Ladewagengras oder langstro-

higer Mist) in hohem Maße. Die genannten Faktoren führen in Verbindung mit dem Intervallbetrieb der Einbringssysteme zu einer Kombination aus Säurekorrosion und Schmirgeleffekt, die je nach Beschaffenheit der verwendeten Werkstoffe mehr oder weniger ausgeprägte Verschleißerscheinungen verursacht. Zur Vermeidung häufigerer Wartungsmaßnahmen aufgrund von Korrosionsschäden ist daher bei der Werkstoff- und Materialauswahl für die Einbringtechnik höchste Sorgfalt geboten.

### 3. Beschreibung der wichtigsten Systemkomponenten

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Komponenten von Feststoffeintragssystemen genauer spezifiziert und wesentliche Unterschiede zwischen den am Markt erhältlichen Typen aufgezeigt. Die meisten Feststoffeintragssysteme landwirtschaftlicher Biogasanlagen bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten, die in der untenstehenden Abbildung kenntlich gemacht sind:

- ▶ Vorlagebehälter (Bunker) zur Bevorratung der Feststoffe
- ▶ Wiegezellen für die Steuerung des Eintrags der Feststoffe nach Gewicht
- ▶ Misch-/Auflöseeinheit zur Lockerung und Durchmischung der Biomasse
- ▶ Austragssystem zur Förderung der Biomasse aus dem Vorlagebehälter (bei einfacheren Systemen oftmals gleichzeitig Einbringssystem)
- ▶ Einbringssystem zur Förderung der Biomasse in den Gärbehälter (oder die Vorgrube/ Hydrolysestufe)

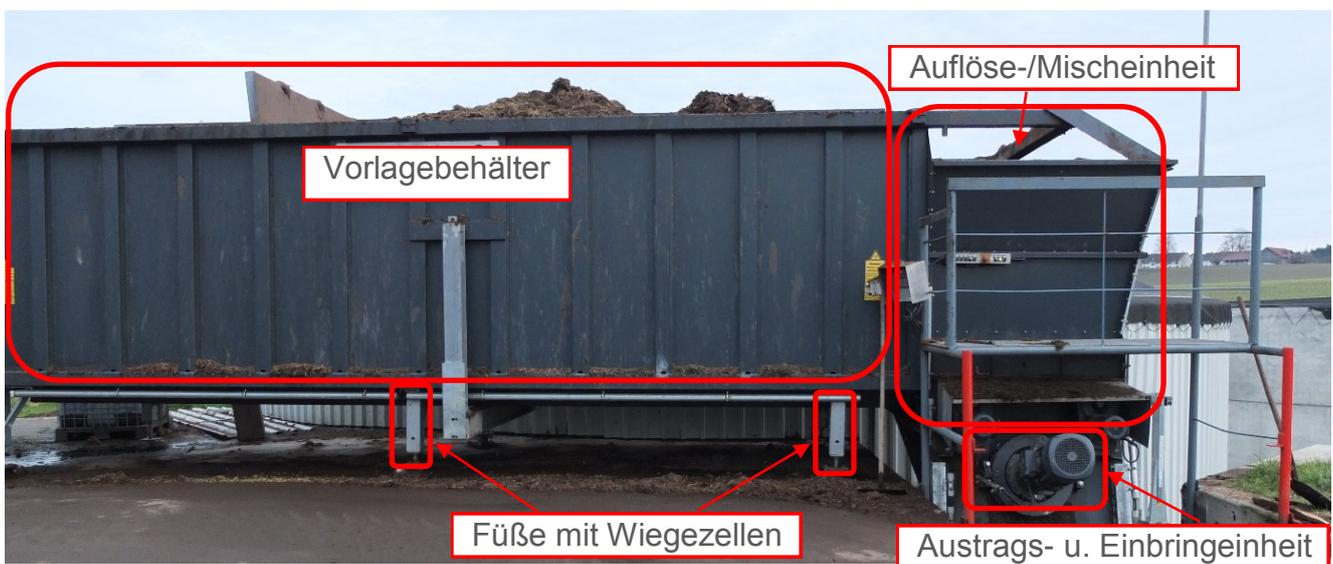


Abb. 1: Feststoffeintragssystem mit Kennzeichnung der wesentlichen Komponenten (Foto: LfL)

### 3.1 Feststoffvorlagebehälter

Die Aufgabe eines Feststoffvorlagebehälters – oft auch als Feststoffvorratsbehälter/-container/-bunker bezeichnet – ist es, die dem Gärprozess zuzuführende Biomassemenge über einen Zeitraum von etwa 12 bis 24 Stunden zwischenzulagern. Um den zeitlichen Arbeitsaufwand für den Anlagenbetreiber zu reduzieren, ist es weitere Aufgabe des Feststoffvorlagebehälters, die zwischengelagerte Biomasse in kleineren Chargen zu vorgegebenen Zeitintervallen automatisiert an die Austrags- und Einbringorgane zur Beschickung der Gärbehälter abzugeben.

Der Vorratsbehälter sollte für diesen Zweck so groß dimensioniert sein, dass eine Befüllung mit Biomasse aus dem Fahrsilo bzw. Lagerplatz durch den Anlagenbetreiber höchstens zweimal täglich erforderlich ist. In jedem Fall muss der Behälter hinsichtlich seines Fassungsvermögens so ausgelegt werden, dass wenigstens die Zeit überbrückt werden kann, in der kein Betriebspersonal auf der Anlage gegenwärtig sein kann. In der Regel empfiehlt es sich, das Volumen des Vorratsbehälters so groß zu wählen, dass der Biomassebedarf eines ganzen Tages bevorratet werden kann. Als Kalkulationsgröße für die Auslegung der Vorlagebehälter kann von einem mittleren Schüttgewicht der Feststoffe von etwa  $0,3 \text{ t/m}^3$  ausgegangen werden.

Zu groß dimensionierte Vorlagebehälter erhöhen wiederum nicht nur den Investitionsbedarf deutlich, da sie insbesondere bei großen Biogasanlagen meist nur mit immensem technischem Aufwand realisiert werden können, sondern es steigen auch die Energieverluste durch Veratmung des aufgelockerten Materials rasant an.

Um die Biomasse in gleichmäßigen Chargen einbringen und eine genaue Kontrolle des Substratbedarfs der Biogasanlage vor-

nehmen zu können, sind Feststoffvorlagebehälter immer mit einer Wiegeeinrichtung zu versehen. In der Regel wird der Behälter dazu mit speziellen Stützfüßen auf Wiegezellen gestellt.



**Abb. 2:** Stützfuß eines Feststoffvorlagebehälters auf einer Wiegezelle (Foto: LfL).

Nur bei einer Feststoffdosierung nach vorgegebener Menge und einer entsprechenden Programmierung der Steuerung (SPS) kann eine Brückenbildung im Vorlagebehälter anhand der Überschreitung der maximal festgelegten Einbringzeit festgestellt werden. Zudem besteht für Biogasanlagen mit EEG-Vergütung kein Zahlungsanspruch, wenn die Masse der eingebrachten Substrate nicht korrekt erfasst und dokumentiert wird! Zur Sicherstellung der korrekten Funktionsweise sind die Wiegezellen in regelmäßigen Abständen (mindestens einmal jährlich) zu kalibrieren und es ist dem Umweltgutachter eine entsprechende Bestätigung über die durchgeführte Kalibration vorzulegen. Die Kalibration kann der Betreiber mit einem geeigneten Referenzgewicht selbst durchführen.

Feststoffvorlagebehälter werden sowohl mit, als auch ohne spezielle Mischeinrichtungen angeboten. In einigen Behältertypen erzielen auch die Auflöse- und Austragsorgane bereits eine ausreichende Durchmischung und Homogenisierung der Biomasse. Daher sind die in den folgenden Abschnitten genauer beschriebenen Systeme in Vorlagebehälter mit und ohne „Intensiv-Mischwerkzeuge“ unterteilt.

#### SICHERHEITSHINWEIS:

In den Feststoffvorlagebehälter darf ohne vorherige Abschaltung des Eintragungssystems keine Person einsteigen! Die Abschaltung ist beispielsweise durch einen Schlüsseltaster oder einen Magnetschalter sicherzustellen. Beim Einsteigen in den Vorlagebehälter ohne gesicherte Abschaltung besteht Lebensgefahr!

### 3.1.1 Vorlagebehälter ohne Intensiv-Mischwerkzeuge

Diese Art von Vorlagebehältern hat in der Praxis weite Verbreitung gefunden und ist relativ einfach. Die Behälter werden üblicherweise als Trichter, Container oder Rundbehälter aus den Werkstoffen Schwarzstahl, Edelstahl (V2A/V4A), Beton oder Polyethylen gefertigt.

Containerbauformen sind bezüglich ihrer Größe deutlich variabler gestaltbar als andere Bauformen, da durch Verlängerung des üblicherweise in Segmentbauweise gefertigten Containers größere Volumina realisiert werden können. Einfache Trichterbauformen und Rundbehälter sind hier eher eingeschränkt, da Steigerungen der Volumina nur durch Aufsatzwände erreicht werden können. Um noch größere Fassungsvermögen der Feststoffbehälter realisieren zu können, haben sich in der Praxis auch Kombinationen aus Container und Trichter oder Container und Rundbehälter bewährt.

Die Vielfalt der angebotenen Auflöse- und Förderorgane für Vorlagebehälter ohne Intensivmischwerkzeuge ist relativ groß.

In der Praxis haben vor allem folgende Fördersysteme Verbreitung gefunden:

- a) Schneckensysteme (Trichter)
- b) Kratzbodensysteme (Container)
- c) Schubstangen-/Schubbodensysteme (Container)
- d) Abschiebesysteme (Container)
- e) Austragsschwertsysteme (Rundbehälter)

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Fördersysteme kurz technisch beschrieben, deren Vor- und Nachteile aufgezeigt sowie die Eignung für unterschiedliche Einsatzstoffe dargestellt.

a) Fördersysteme mit rotierenden **Schnecken** sind relativ einfach aufgebaut. Die Wellen der Förderschnecken werden in der Regel in Trichtern beidseitig gelagert und mithilfe eines außerhalb des Trichters an die Welle geflanschten Getriebemotors angetrieben. Zur Auflockerung der in den Trichter eingetragenen Biomasse werden häufig mehrere Förderschnecken kombiniert. Dabei fungiert eine Schnecke mit größerem Durchmesser an der tiefsten Stelle des Trichters als Austragsschnecke, während zwei kleinere Schnecken beidseitig höhenversetzt gegenläufig arbeiten und das Material auflockern. Zur Vermeidung von Brückenbildung im Futterstock sollten die

Wände des Feststofftrichters ausreichend steil ausgeführt und die Schnecken entsprechend groß dimensioniert sein. Insbesondere bei Verarbeitung langfaseriger Stoffe (z.B. Ladewagengras, Stroh oder Mist) und niedrigen pH-Werten im Ausgangsmaterial sind Schnecken aus einfachem Schwarzstahl so starker Korrosion und großem Verschleiß ausgesetzt, dass ein Tausch der Förderschnecken schon nach wenigen Jahren Betriebszeit erforderlich ist.



Abb. 3: Trichter mit Schneckeneintrag (Foto: LfL)

b) Auch **Kratzbodensysteme** sind technisch einfach zu bauen. Sie unterliegen aber einem starken Verschleiß durch die Weitung der Kettenglieder. Durch das umlaufende System aus Ketten und Leisten erfolgt zudem ein unerwünschter Material-

austrag, der zu Ablagerungen von Fördergut unter dem Behälter führen kann. Auch Flüssigkeiten können leicht austreten. Das System ist von Festmist- oder Kompoststreuern bekannt.



Abb. 4 und 5: Container mit Kratzboden (Foto links: LfL; Foto rechts: Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH)

c) Die in der Regel hydraulisch angetriebenen **Schubstangen- bzw. Schubbodensysteme** sind technisch aufwändiger zu fertigen. Sie sind hinsichtlich ihrer Mechanik wenig stör anfällig und werden deshalb auch häufig bei der Verarbeitung von Bioabfällen eingesetzt. Schubstangen- bzw. Schubbodensysteme werden oft in Verbindung mit Betonbunkern verwendet. Anstelle eines umlaufenden Systems bewegen sich hier nur zwei oder mehr Schubstangen mit keil-

förmigen Leisten gegenläufig wenige Zentimeter vor und zurück. Bei der Vorwärtsbewegung schieben die stumpfen Enden der Leisten das Fördergut in Richtung des Materialaustrags. Bei der Rückwärtsbewegung gleiten die Leisten unter dem Fördergut wieder in ihre Ausgangslage zurück. Hierbei werden besser rieselfähige Stoffe in der Regel schneller transportiert als schlechter rieselfähige.



**Abb. 6:** Stahlcontainer mit Schubbodensystem;  
SICHERHEITSHINWEIS: Die Leiter ist gegen Abrutschen zu sichern! (Foto: LfL)

d) Bei **Abschiebesystemen** drückt ein mittels Hydraulikaggregat angetriebener Stempel das Fördergut in Richtung des Materialaustrags. Da mit zunehmender Länge des Bunkers der Reibungswiderstand zwischen dem Fördergut und den Bunkerwänden zunimmt, ist die maximale Bunkerlänge begrenzt. Andererseits sind die Bunker leicht abzudichten und korrosionsgeschützt zu be-

schichten. Auch eine Entmischung bei unterschiedlich rieselfähigen Stoffen ist nicht zu erwarten. Ältere Systeme zeigen manchmal gewölbte Seitenwände, was dazu führen kann, dass Fördergut hinter den Stempel gerät. Neuere Systeme werden oft mit einem rotierenden Werkzeug an der Austragseite kombiniert.



**Abb. 7 und 8:** Container mit Abschiebesystem (Foto links: Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH; Foto rechts: LfL)

e) **Austragsschwertsysteme** sind nur für Rundbehälter geeignet. Aufbau und Funktionsweise ähneln stark der eines mittels Traktor betriebenen Betonmischers. Ein am Boden des Rundbehälters gelagertes, langsam rotierendes Schwarz- oder Edelstahl-schwert bewegt die Biomasse im Behälter an einer Austragsöffnung vorbei, wo das Substrat an die Einbringeinheit in den Gärbehälter abgegeben wird. Zur Erleichterung des Materialaustrags wird an dieser Stelle häufig eine kurze Förderschnecke installiert.

Einsatzstoffe mit kleinen Partikelgrößen können in diesen Systemen gut verarbeitet werden, verzopfter langstrohiger Mist oder schlecht geschnittenes Ladewagengras kann hingegen zu Verstopfung an der Austragseinheit führen, da das Austragsschwert nur eine geringe auflösende Wirkung an der Biomasse erzielt. Insbesondere bei niedrigen pH-Werten im Ausgangsmaterial sind Austragsschwerter aus einfachem Schwarzstahl starker Korrosion und großem Verschleiß ausgesetzt.



Abb. 9: Rundcontainer mit Austragsschwert (Foto: LfL)

### 3.1.2 Vorlagebehälter mit Intensiv-Mischwerkzeugen

Vorlagebehälter mit Intensiv-Mischfunktion sind in der Regel als Rund- oder Ovalbehälter ausgeführt, in die große Mischwerkzeuge (meist stehende Mischschnecken) integriert sind. Ihre Verwandtschaft zu aus der Rinder- und Milchviehfütterung bekannten Futtermischwagen ist in der Regel deutlich erkennbar.

Die stehenden Mischschnecken erfüllen zwei Aufgaben: Zum einen sollen die eingebrachten Einsatzstoffe intensiv durchmischt und Verzopfungen bzw. Verklumpungen in der Biomasse gelöst werden. Zum anderen soll mithilfe mehrerer Messerklingen, die an den Schnecken angeschraubt sind, eine

Zerkleinerung und weitere Homogenisierung insbesondere langfaseriger Einsatzstoffe erreicht werden. Daher werden diese Vorlagebehälter vor allem dann bevorzugt eingesetzt, wenn unterschiedlichste und schwierige Inputstoffe verarbeitet werden müssen. Dazu zählen langfaserige Stoffe wie Ladewagengras oder ungekürztes Stroh und stark verklebende Einsatzstoffe wie Obsttrester.

Um größere Bunkervolumina realisieren zu können, müssen die Behälter mit relativ großen Trichteraufsätzen ausgestattet werden. Da die Mischorgane aber häufig nur im unteren Teil des Bunkers arbeiten, kann nicht

immer davon ausgegangen werden, dass eine vollständige Durchmischung des Bunkerinhalts erfolgt. In diesem Fall sollte auch die zerkleinernde Wirkung der an die Mischorgane angebauten Schneidwerkzeuge nicht überschätzt werden. Bezogen auf die eingebrachte Menge an Biomasse weisen

Systeme mit Intensivmischwerkzeugen aufgrund des enormen Kraftbedarfs für die Durchmischung und Zerkleinerung des Behälterinhalts in der Regel einen deutlich höheren Energiebedarf auf als einfachere Systeme ohne Mischorgane.



Abb. 10 und 11: Vorlagebehälter mit stehenden Intensiv-Mischschnecken (Fotos: LfL)

### 3.2 Austragsorgane

Als Austragsorgane werden in der Regel Förderschnecken, Walzen oder Förderbänder bezeichnet, die an der Austragsseite der Vorlagebehälter angebracht sind und für einen gleichmäßigen Materialstrom in die Eintragungssysteme sorgen sollen. Häufig werden Austragsorgane mit Auflöswerkzeugen kombiniert, um Verzapfungen/Klumpen in

der Biomasse aufzulösen. Zum Auflösen des Futterstocks im Vorlagebehälter haben sich vertikale Schnecken oder horizontale Reißwalzen bewährt. Bei gut schütt- bzw. rieselfähigen Einsatzstoffen wie beispielsweise kurzgehäckselter Maissilage sind Auflöswerkzeuge meist nicht erforderlich.



Abb. 12 und 13: Feststoffvorlagebehälter mit Auflöse- bzw. Mischwalzen (Fotos: LfL)

## 3.3 Eintragungssysteme

Eintragungssysteme stellen das Verbindungsstück zwischen Feststoffvorlagebehälter und Fermenter dar. Sie befördern die Biomasse aus dem Vorlagebehälter in den Gärraum. Im Wesentlichen können Feststoff-

fe auf zwei unterschiedliche Arten in Gärbehälter eingetragen werden: trocken oder suspendiert/flüssig. Die beiden Typen werden in den nachfolgenden Absätzen genauer spezifiziert.

### 3.3.1 Feststoff-Trocken-Eintragungssysteme

Bei „Feststoff-Trocken-Eintragungssystemen“ wird die aus dem Vorlagebehälter ausgetragene Biomasse über ein Konstrukt aus einer oder mehreren Förderschnecken oder Förderbändern in den Gärbehälter eingebracht.

**Steigförderschnecken** können raumsparend senkrecht installiert werden, wobei mit ihrer Länge die Anfälligkeit für Wellenbrüche aufgrund von Überlastung und Torsion zunimmt. Als kritisch erweisen sich immer wieder die Übergabepunkte zwischen Steig- und Stopfschnecke. Hier ist besonders auf die Abstimmung des Schneckendurchmes-

sers (Stopfschnecke  $\geq$  Steigschnecke), Leistung und Drehzahl der Antriebseinheiten, Durchsatz und die richtige **Start-Stop-Sequenz** zu achten. Die Startsequenz des Eintragungssystems sollte immer so programmiert werden, dass die Stopfschnecke zuerst anläuft, nach kurzer Zeit die Steigschnecke zuschaltet und danach erst die Austragswerkzeuge aus dem Vorlagebehälter anlaufen. In umgekehrter Reihenfolge sollte die Stop-Sequenz ablaufen. Auf diese Weise kann ein Futterstau an den Übergabepunkten der Schnecken vermieden werden.



**Abb. 14 und 15:** Feststoff-Trocken-Eintragungssysteme mit Trog-, Steig- und Stopfschnecke (Fotos: LfL)

Allgemein ist zwischen Schnecken mit und ohne „Seele“ zu unterscheiden. Letztere sind teurer in der Anschaffung und werden vor allem dann eingesetzt, wenn Fremdkörper in den einzutragenden Feststoffen zu erwarten sind. Werden seelenlose Schnecken schräg installiert, ist darauf zu achten, dass die Schnecken nicht durchhängen, um einen erhöhten Verschleiß zu vermeiden.

Schnecken aus einfachem oder verzinktem Schwarzstahl sind aufgrund des niedrigen pH-Wertes von Silagen anfälliger für Korrosion und Störungen durch Fremdstoffe als **Förderbänder**. Einfache Förderbänder sind jedoch nicht für Steigungen über 20° geeignet. Spezialförderbänder mit entsprechen-

den Mitnehmern auf dem Band können für Steigungen bis zu 30° eingesetzt werden. Um größere Einfüllhöhen realisieren zu können, ist daher bei Verwendung von Förderbändern deutlich mehr Platz erforderlich als bei Förderschneckensystemen.

Da von Biogasanlagenbetreibern in Regionen mit rauen Wintermonaten bereits mehrere Fälle gemeldet wurden, in denen es zum Festfrieren feuchter Biomasse an den Förderbändern kam, sollten im Freien verlaufende Förderbänder eingehaust werden – auch um Verwehungen durch Wind zu verhindern.



**Abb. 16:** Feststoff-Trocken-Eintragssystem mit Steigförderband, Querförderband und Stopfschnecke (Foto: Gutachtergemeinschaft Biogas GmbH)

Steigschnecken und Steigförderbänder münden je nach Anlagenkonfiguration in der Regel in Stopfschnecken, die die Biomasse in den Gärbehälter drücken. Stopfschnecken sind in ihrer Länge so zu dimensionieren, dass sie ausreichend weit unter die minimale Füllstandshöhe im Fermenter reichen. Nur so kann sichergestellt werden,

dass im Gärbehälter erzeugtes Biogas nicht in das Fördersystem gelangt. Andernfalls besteht akute Explosionsgefahr im Bereich des gesamten Feststoffeintragssystems! Sämtliche Antriebe der Einbringeinheit und andere elektrische Verbraucher in der Umgebung müssten dann entsprechend EX-geschützt ausgeführt werden.

### 3.3.2 Feststoff-Flüssig-Eintragssysteme

Neben den beschriebenen Feststoff-Trocken-Eintragssystemen gibt es Systeme, die die Feststoffe mit Flüssigkeit (z. B. Gülle oder Rezirkulat) vermengen und dem Gär-

behälter in suspendierter Form zuführen. Oft werden diese Eintragssysteme als „Flüssigfütterung“ bezeichnet.



**Abb. 17 und 18:** Feststoff-Flüssig-Eintragssystem mit Exzentrerschneckenpumpe;  
**SICHERHEITSHINWEIS:** Vor Inbetriebnahme des Aggregats ist die Wartungsklappe zu verschließen (siehe Bildmitte)! (Foto: LfL).

Im Gegensatz zu sogenannten Anmisch-/Vorgruben, die früher zur Einmischung von Feststoffen ins Gärgemisch errichtet wurden, sind Flüssigfütterungen dadurch gekennzeichnet, dass eine Zwangsmischung in einem kleineren Behälter (häufig einem größer dimensionierten Rachen einer Pumpe) erfolgt, so dass keine Entmischung möglich ist.

Wesentlicher Vorteil einer Flüssigfütterung gegenüber herkömmlichen Trockenfütterungen ist die Erleichterung der Homogenisierung des Gärgemisches im Fermenter. Durch das Suspendieren der einzutragenden Biomasse wird einem raschen Absinken (Bildung einer Sinkschicht/eines Futterstocks) oder Aufschwimmen (Bildung einer Schwimmschicht) der Substratpartikel im Fermenter entgegenwirkt. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt vor allem bei langfaserigen Inputstoffen wie Grassilage, Stroh oder Mist.

Ein weiterer Vorteil von Flüssigfütterungen ist die Möglichkeit, z. B. während Revisionsarbeiten am Hauptfermenter bei entsprechender Ausführung der Pumpleitungen den Nachgärer zu füttern. So kann die Anlage ohne große Leistungsreduzierung weiterbetrieben und der Zeitdruck für die Revisionsarbeiten deutlich gesenkt werden.

Zudem können Flüssigfütterungen gut mit Nasszerkleinerungseinrichtungen kombiniert werden. Diese werden häufig auf der Druckseite der Pumpen in die Rohrleitung integriert, wodurch die Partikelgröße der Einsatzstoffe reduziert und so eine bessere Homogenisierung des Gärgemisches und ein beschleunigter Abbau erzielt werden können.

Bei der Auslegung von Flüssigfütterungen für Biogasanlagen sind neben der Beschaffenheit der Feststoffe auch die Viskosität des Rezirkulats, die erforderliche Länge der

Pumpleitung zum Fermenter sowie die notwendige Anzahl an Bögen in der Rohrleitung zu berücksichtigen. Entsprechend dieser Kriterien muss der Querschnitt der Rohrleitung sowie Größe und Leistung der Pumpe gewählt werden. Werden langfaserige Einsatzstoffe angeteigt und in den Fermenter gepumpt, sollte die Pumpleitung einen Innendurchmesser von mindestens 150 mm aufweisen. Da Kreisel- und Drehkolbenpumpen bei höherer Viskosität (in der Regel TS-Gehalt > 10 %) im Fördermedium an ihre Grenzen kommen, haben sich für Flüssigfütterungen in der Praxis entsprechend modifizierte Exzentrerschneckenpumpen bewährt. Um sicher zu gehen, dass die gewünschte Pumpe für das Gärgemisch einer bestimmten Biogasanlage geeignet ist, sollte bei der Anschaffung solcher Pumpen darauf geachtet werden, dass der Hersteller entsprechende Erfahrungen und Referenzen für ein ähnliches Medium nachweisen kann.

#### 4. Werkstoffauswahl

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten, ist die Werkstoffauswahl bei Feststoffeintragssystemen vor allem hinsichtlich der Aspekte Korrosion (insbesondere durch Gärsäuren in Silagen) und Abrieb (insbesondere durch Sand- und Kiesbeimengungen bzw. sonstige Störstoffe) ein wichtiges Kriterium bei der Neuanschaffung oder dem Tausch verschlissener Eintrags-technik.

So entspricht die Verwendung von Schwarzstahl in den medienberührten Bereichen von Vorlagebehältern aber auch Austrags- und Förderorganen nicht mehr dem Stand der Technik. Zum Schutz vor Korrosion sollten vor allem die Bunkerwände von Vorlagebehältern entweder in entsprechend korrosionsbeständigem Edelstahl ausgeführt oder der Innenraum des Bunkers mit geeigneten Kunststoffen aus-

Bei der Verlegung der Pumpleitungen von Flüssigfütterungen sollten für einen weitgehend störungsfreien Betrieb folgende Regeln beachtet werden:

- ▶ Bögen anstelle von Winkelstücken verbauen;
- ▶ 90°-Bögen vermeiden, besser zwei 45°-Bögen verwenden;
- ▶ Innendurchmesser so bemessen, dass Verstopfungen und zu hohe Drücke vermieden werden, gleichzeitig aber eine ausreichende Fördergeschwindigkeit erzielt wird, um Sedimentation zu verhindern;
- ▶ Rezirkulatpumpe unbedingt mit Drucküberwachung und Durchflussmessung ausstatten, um Trockenlauf der Anteilpumpe zu vermeiden;
- ▶ Für Wartungsarbeiten bzw. Fälle von Verstopfung T-Stücke mit Blinddeckeln in die Leitung integrieren!

gekleidet werden. Kunststoffbeschichtungen können auch den Schneckenmantel vor Korrosion schützen.



**Abb. 19:** Stark verschlissene Vertikalmischschnecke eines Feststoffvorlagebehälters aus Schwarzstahl (Foto: LfL).

Im Bereich der Fördertechnik ist vor allem bei Systemen mit Förderschnecken die Verwendung von säurefestem Edelstahl obligatorisch. Um bei einem hohen Anteil an mineralischen Begleitstoffen in den Einsatzstoffen (z.B. bei Bioabfällen aus Siedlungen, aber auch bei Grassilage oder Zuckerrüben) einem übermäßigen Verschleiß entgegen zu wirken, kann eine Hardoxbeschichtung für die Förderschnecken gewählt oder die

Schnecken können aufgepanzert werden. Wie bei allen Edelstählen ist allerdings auch bei Hardoxstählen darauf zu achten, dass sie für den spezifischen Einsatzzweck geeignet sind: Sie müssen nicht nur resistent gegenüber Schlagbelastungen, sondern auch beständig gegenüber Schmirgeln und Säureeinwirkung sein, was nicht alle Hardoxstähle erfüllen.

## 5. Energiebedarf unterschiedlicher Feststoffeinträge

Der Energiebedarf für das Eintragen von Feststoffen in Gärbehälter variiert zwischen den verschiedenen Vorlagebehältertypen und Einbringsystemen in Abhängigkeit der örtlichen Voraussetzungen sowie der Einsatzstoffzusammensetzung zum Teil erheb-

lich. Wesentliche Unterschiede zwischen den Systemen sowie wichtige Einflussfaktoren auf den Energiebedarf der Eintragungstechnik werden im Folgenden dargestellt und erläutert.

### 5.1 Feststoffvorlagebehälter mit Austrageinheit

Bei Biomassevorlagebehältern und der jeweiligen Austrageinheit hängt der Stromverbrauch von der Bauart des Vorlagebehälters, der Integration von Intensivmischwerkzeugen sowie der Einsatzstoffbeschaffenheit ab. Grundsätzlich gilt: Je größer oder faserreicher die Substratpartikel sind und je intensiver die Durchmischung bzw. Aufbereitung im Vorlagebehälter ist, desto höher ist auch der Energiebedarf des Systems.

Einfache Trichter mit Auflöseschnecken, sowie Container mit Kratzböden, Schubstangen oder Abschiebeschildern zeigten in Messungen der LfL Bayern auf den bayerischen Pilotbiogasanlagen einen vergleichsweise geringen Strombedarf (Ausführliche Berichte auf den Webseiten des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung der LfL unter: <http://www.lfl.bayern.de/ilt/umwelttechnik/technikfolgen/120603/index.php>). Eindeutige Vorzüge bestimmter Geräte aus dieser

Gruppe im Hinblick auf den Energiebedarf konnten aufgrund der unterschiedlichen Einsatzstoffauswahl der Biogasanlagen nicht nachgewiesen werden. Die im Biogasanlagen-Monitoring der LfL gemessene Spannweite des mittleren spezifischen Stromverbrauchs einfacher Trichtersysteme mit Auflöseschnecken beläuft sich auf 0,05 bis 0,1 kWh je eingetragene Tonne FM bei überwiegender Verfütterung gehäckselter Ganzpflanzensilagen. Abschiebecontainer mit Mischschnecken erreichten unter ähnlichen Bedingungen Werte von 0,1 bis 0,45 kWh, wobei letzterer Wert an einer Biogasanlage mit überwiegendem Einsatz von Klee gras gemessen wurde. Ein untersuchter Kratzbodencontainer mit Fräswalzen verbrauchte 0,7 kWh je Tonne Frischmasse bei überwiegender Verfütterung gehäckselter Ganzpflanzensilagen.

Rundbehälter mit Austragsschwertern benötigten im Vergleich zu den oben genannten

Systemen geringfügig mehr Strom, um dieselbe Menge an Biomasse aus dem Behälter zu fördern. Der im Anlagenmonitoring untersuchte Rundbehälter erzielte einen mittleren spezifischen Stromverbrauch von 1,1 kWh je eingetragene Tonne FM bei überwiegender Verfütterung gehäckselter Ganzpflanzensilagen.

Den höchsten Stromverbrauch zeigten Rund- oder Ovalbehälter mit Intensivmischwerkzeugen (in der Regel stehende Schnecken). Die im Anlagenmonitoring gemessene Spannweite des mittleren spezifi-

schen Stromverbrauchs von Rund- bzw. Ovalbehältern mit Intensivmischwerkzeugen beläuft sich auf 2,1 bis 4,55 kWh je eingetragene Tonne Frischmasse, wobei der niedrigste Wert an einem größeren Zwei-Schnecken-Mischer und der höchste an einem Ein-Schnecken-Mischer gemessen wurde. Werden wie an den hier untersuchten Anlagen größere Mengen an schwierigen Einsatzstoffen wie langstrohigem Mist oder Ladewagen gras gefördert, ist die bessere Auflockerungs- und Zerkleinerungswirkung dieser Systeme gegenüber dem höheren Energiebedarf abzuwägen.

### 5.1.1 Hilfestellung für die Systemauswahl und Auslegung von Feststoffvorlagebehältern

		Trichter mit Schnecken	Abschiebecontainer	Schubbodencontainer	Container mit Kratzboden	Rundbehälter mit Austragschwert	Rundcontainer mit Intensivmischwerkzeugen
<b>Auslegungskriterien für Vorlagebehälter</b>	<b>Eignung für Einsatzstoffe</b>	<b>Kurzfasrige Einsatzstoffe:</b> Ganzpflanzensilagen (Mais, Getreide, Sorghum) und Grassilagen gehäckselt (Exaktfeldhäcksler)	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet Auf geringen Sickersaftaustritt achten!	geeignet
		<b>Langfasrige Einsatzstoffe:</b> Grassilage geschnitten (Lade-/Silierwagen), Maisstrohsilage, langstrohiger Mist	je nach Ausführung <b>bedingt bis nicht geeignet:</b> Gefahr der Brückenbildung	<b>bedingt geeignet:</b> Gefahr der Brückenbildung	je nach Ausführung der Auflösungswerkzeuge <b>geeignet bis bedingt geeignet</b>	je nach Ausführung der Auflösungswerkzeuge <b>geeignet bis bedingt geeignet</b>	<b>bedingt bis nicht geeignet:</b> Gefahr der Brückenbildung
	<b>Vorhaltevolumen Behälter</b>	bei Verwendung entsprechender Wandaufsätze bis 40 m³	bis 100 m³	bis 160 m³	bis 200 m³	bei Verwendung entsprechender Wandaufsätze bis 20 m³	bei Verwendung entsprechender Wandaufsätze bis 80 m³
	<b>Realisierung großer Durchsatzmengen in kurzer Zeit</b>	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	<b>bedingt bis nicht geeignet</b>	<b>bedingt bis nicht geeignet</b>
	<b>Intensität der Homogenisierung / Durchmischung</b>	je nach Ausführung <b>gering bis mittel</b> (bei Verwendung von Mischschnecken)	je nach Ausführung <b>gering bis mittel</b> (bei Verwendung von Mischschnecken)	je nach Ausführung <b>gering bis mittel</b> (bei Verwendung von Fräswalzen)	je nach Ausführung <b>gering bis mittel</b> (bei Verwendung von Fräswalzen)	<b>mittel</b>	<b>stark</b>
	<b>Verschleiß bei hohem Fremdkörperbesatz (Erданhang, Steine, etc...)</b>	je nach Ausführung <b>mittel bis stark</b>	je nach Auskleidung des Behälters <b>gering bis mittel</b>	<b>gering</b>	<b>gering bis mittel</b>	<b>stark</b>	<b>stark</b>
	<b>Energiebedarf je Tonne Frischmasse</b>	<b>gering</b>	<b>gering</b>	<b>gering</b>	<b>gering</b>	<b>mittel</b>	<b>hoch</b>

**Tab. 1:** Bewertungsmatrix, um die grundsätzliche Eignung der gängigen Feststoffvorlagebehälter mit Austrageinheit für unterschiedliche Substrate beurteilen zu können

## 5.2 Einbringssysteme

Der Stromverbrauch von Feststoffeintragssystemen an Biogasanlagen hängt neben der Art des Systems (Trocken- oder Flüssigeintrag) und der Einsatzstoffbeschaffenheit wesentlich von der räumlichen Distanz zwischen Vorlage- und Gärbehälter sowie der notwendigen Förderhöhe für das Einbringen der Biomasse in den Fermenter ab.

Messungen der LfL Bayern an den bayerischen Pilotbiogasanlagen zeigten, dass Trocken-Eintragssysteme bei kurzer, räumlicher Distanz zwischen Vorlagebehälter und Fermenter grundsätzlich weniger Energie benötigen, um eine Tonne Feststoff in den Gärraum einzubringen, als technisch aufwändigere Flüssig-Eintragssysteme.

Innerhalb der Gruppe der **Trocken-Eintragssysteme** konnten bei ähnlichen örtlichen Voraussetzungen keine eindeutigen Vorzüge im Stromverbrauch zwischen Förderbändern und Schneckensystemen festgestellt werden. Als ausschlaggebend für den Stromverbrauch von Trocken-Eintragssystemen erwies sich die erforderliche Förderhöhe und Förderweite. Der dementsprechend niedrigste Energiebedarf je eingetragene Tonne Frischmasse konnte bei Anlagen mit vollständig im Boden versenkten oder befahrbaren Fermenter gemessen werden, an denen die Feststoffe ausschließlich mit einer durch die Behälterwand /-decke geführten Stopfschnecke in den Gärraum eingebracht wurden. Die im Biogasanlagen-Monitoring der LfL gemessene Spannweite des mittleren spezifischen Stromverbrauchs von Trockeneintragssystemen bei einer Förderhöhe von null bis drei Metern lag zwischen 0,4 und 0,85 kWh je eingetragene Tonne Frischmasse, wobei letzterer Wert an einer Anlage mit Ladewagenengras ermittelt wurde.

Den erwartungsgemäß höchsten Energiebedarf wiesen mit einer Ausnahme Trocken-Eintragssysteme auf, die eine Förderhöhe von mehr als fünf Meter überwinden mussten. Die gemessene Spannweite des mittleren spezifischen Stromverbrauchs lag hier zwischen 0,35 kWh (Förderband + Stopfschnecke) und 1,25 kWh (Steig- und Stopfschnecke bei Eintrag von Ladewagenengras) je eingetragene Tonne Frischmasse.

Aus der Gruppe der **Flüssig-Eintragssysteme** wurden sowohl Anmischgruben als auch Flüssigfütterungen auf Basis großdimensionierter Exzentrerschneckenpumpen von der LfL Bayern untersucht. Hierbei erwiesen sich Anmischgruben, in die die Feststoffe über eine Öffnung mittels Radlader eingebracht, anschließend von Rührwerken mit Rezirkulat oder Gülle vermischt und in den Fermenter gepumpt werden, als "Stromfresser" und daher nicht mehr zeitgemäß.

Die Messungen zeigten zudem, dass der Energiebedarf von Flüssigfütterungspumpen in engem Zusammenhang mit dem TS-Gehalt und der Viskosität des für die Vermischung mit den Feststoffen erforderlichen Rezirkulats steht. Grund dafür ist die Tatsache, dass der Stromverbrauch der Fütterungspumpen vom Pumpdruck abhängt, mit dem die Suspension in den Fermenter gedrückt wird. Es gilt: Je höher der TS-Gehalt und die Viskosität des Rezirkulats, desto dickflüssiger ist der Substratbrei und entsprechend höher der Pumpdruck. Zugleich erhöht sich mit steigender Viskosität des Rezirkulats die Dauer der Fütterung, weil weniger Feststoffe zur Erzeugung eines pumpfähigen Breis in der gleichen Zeit verarbeitet werden können. Auch enge Bögen in der Verrohrung erhöhen den Gegendruck

in der Substratleitung und damit den Energiebedarf der Fütterungspumpe. Der im Biogas-Monitoring der LfL gemessene mittlere spezifische Stromverbrauch von Flüssigfütterungspumpen variierte von 0,8 bis 1,95 kWh je eingetragene Tonne Frischmasse, wobei die Förderstrecken zwischen Feststoffdosierer und Eintrag in den Fermenter um mehr als das doppelte länger waren, als bei den untersuchten Trocken-Eintragungssystemen.

Der relativ hohe Stromverbrauch von Flüssigfütterungspumpen ist auch durch die längeren An- und Nachlaufzeiten der Pumpen

begründet, um die Substratleitungen zu Spülen und Futterstaus zu vermeiden. Der Nachteil beim Energiebedarf von Flüssigfütterungen gegenüber Trocken-Eintragungssystemen reduziert sich mit steigender Einbringstrecke deutlich. Berücksichtigt man in der Rechnung zudem die deutlich reduzierte Gefahr einer Futterstockbildung im Fermenter bei einer Breifütterung und den dadurch eventuell reduzierten Energiebedarf für das Rühren, so kann sich sogar ein Vorteil im Hinblick auf die Energieeffizienz von Flüssigfütterungen gegenüber Trocken-Eintragungssystemen ergeben.

### 5.2.1 Hilfestellung für die Systemauswahl und Auslegung von Feststoffeintragssystemen

		Feststoff - Trocken - Eintragssysteme		Feststoff - Flüssig - Eintragssysteme		
		Förderschnecken-Systeme	Kombination aus Förderband und Förderschnecken	Anmischgrube	Flüssigfütterungspumpe	
<b>Auslegungskriterien für Einbringssysteme</b>	<b>Eignung für Einsatzstoffe</b>	<b>Kurzfaserige Einsatzstoffe:</b> Ganzpflanzensilagen (Mais, Getreide, Sorghum) und Grassilagen gehäckselt (Exaktfeldhäcksler)	geeignet bei großen Gärbehältern und knapper rührtechnischer Ausstattung Gefahr der Bildung eines Futterstocks/Sedimentation	geeignet bei großen Gärbehältern und knapper rührtechnischer Ausstattung Gefahr der Bildung eines Futterstocks/Sedimentation; Gefahr des Festfrierens von Futter auf Förderbändern im Winter	geeignet	geeignet
		<b>Langfaserige Einsatzstoffe:</b> Grassilage geschnitten (Lade-/ Silierwagen), Maisstrohsilage, langstrohiger Mist	Je nach Ausführung und Förderstrecke <b>bedingt bis nicht geeignet:</b> Gefahr der Brückenbildung u. Verzopfung; hoher Verschleiß durch lange Fasern	geeignet Gefahr der Brückenbildung an den Übergabestellen zu den Förderschnecken; Gefahr des Festfrierens von Futter auf Förderbändern im Winter	bedingt geeignet enorme Flüssigkeitsmengen für das Anmischen erforderlich	je nach Größe der Flüssigfütterungspumpe <b>geeignet bis bedingt geeignet</b> größere Flüssigkeitsmengen für das Anmischen erforderlich
		<b>Hoher Schmutzanteil in den Einsatzstoffen</b> ⇒ regelmäßige Behälterrevisionen	bedingt geeignet je nach Ausführung starker Verschleiß durch Abrieb; Im Falle von Behälterrevisionen keine Fütterung eines anderen Gärbehälters möglich	geeignet im Falle von Behälterrevisionen jedoch keine Fütterung eines anderen Gärbehälters möglich	geeignet im Falle von Behälterrevisionen an der Anmischgrube jedoch keine Fütterung eines anderen Gärbehälters möglich	geeignet bei regelmäßiger Leerung der Steinfangmulde in der Pumpe; Fütterung anderer Gärbehälter im Falle von Revisionen am Fermenter möglich
		<b>Große Räumliche Distanz zwischen Feststoffdosierer und Fermenter</b>	bei kurzfasrigen Einsatzstoffen <b>geeignet bis bedingt geeignet</b> hohe Investitionskosten für lange Förderstrecken	geeignet hohe Investitionskosten für lange Förderstrecken	geeignet	geeignet
	<b>Energiebedarf je Tonne Frischmasse (Normalbetrieb)</b>	kurze Förderstrecken (< 10m)	gering	gering	sehr hoch	mittel bis hoch
		lange Förderstrecken (> 10 m)	mittel	gering bis mittel	sehr hoch	gering bis mittel
		<b>Möglichkeit der Fütterung mehrerer Gärbehälter</b>	bis zu drei Fermenter mit einer Steigschnecke	bis zu zwei Fermenter mit einem Steigförderband	bei entsprechender Pumpverrohrung alle Gärbehälter	bei entsprechender Pumpverrohrung alle Gärbehälter
		<b>Hohe TS-Gehalte (&gt; 14 %) bei gleichzeitig hoher Viskosität im Gärgemisch</b>	geeignet	geeignet	<b>Bedingt bis nicht geeignet:</b> Anteigen kaum oder nur sehr schwer möglich	<b>Bedingt bis nicht geeignet:</b> Anteigen kaum oder nur sehr schwer möglich

Tab. 2: Bewertungsmatrix, um die grundsätzliche Eignung der gängigen Feststoffeintragssysteme für unterschiedliche Substrate beurteilen zu können

---

**Zitiervorlage:** Streicher, G., M. Effenberger und M. Helm (2019): Technische Empfehlungen für Feststoffeintragssysteme an Biogasanlagen.  
In: Biogas Forum Bayern bfb5, Hrsg. ALB Bayern e.V., <https://www.biogas-forum-bayern.de/bfb5>, Stand [Abrufdatum].