

Zukunftskonzept Koppelprodukte: Biogasproduktion aus Stroh, Mist und Co.

Faserhaltige Substrate richtig einsetzen



Gefördert durch:



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben (**LaRA - Landwirtschaftliche Rest- und Abfallstoffverwertung** – Lösungsansätze zur technischen Anpassung bestehender Biogasanlagen für die Nutzung faseriger Reststoffe) wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter den Förderkennzeichen 2219NR196, 2219NR158 und 22407118 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Impressum

Herausgeber:

Technische Hochschule Ingolstadt
ATB Potsdam
C.A.R.M.E.N. e.V.

Autorinnen und Autoren:

Norbert Grösch (THI)
Prof. Dr.-Ing. Wilfried Zörner (THI)
Dr. Christiane Herrmann (ATB)
Christian Freydank (ATB)
Sebastian Altmann (C.A.R.M.E.N. e.V.)
Cosima Aeschbach (C.A.R.M.E.N. e.V.)
Jasmin Kaun (C.A.R.M.E.N. e.V.)
Ulrich Kilburg (C.A.R.M.E.N. e.V.)
Robert Wagner (C.A.R.M.E.N. e.V.)

Redaktion:

Technische Hochschule Ingolstadt, ATB Potsdam, C.A.R.M.E.N. e.V.

Bezug als Download:

www.thi.de/go/energie
www.carmen-ev.de
www.atb-potsdam.de

Gestaltung:

Carolin Arbeck (C.A.R.M.E.N. e.V.)
Darja Schmunk

Bilder:

Technische Hochschule Ingolstadt, ATB Potsdam, C.A.R.M.E.N. e.V., BioG GmbH, Landwirtschaft Marschall

Druck:

Stolz Druck GmbH, Mitterfels
Gedruckt auf 100 % Altpapier
in Farben auf Basis von Nachwachsenden Rohstoffen, mineralölfrei

Stand: Dezember 2022

1. Auflage: 1.000 Stück

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung der Herausgeber in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden. Für die Ergebnisdarstellung mit Schlussfolgerungen, Konzepten und fachlichen Empfehlungen sowie die Beachtung etwaiger Autorenrechte sind ausschließlich die Verfasser zuständig.

Haftungsausschluss:

Die hier aufgeführten Informationen wurden mit größtmöglicher Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Dennoch übernehmen die Herausgeber keine Gewähr für die Aktualität, Vollständigkeit und Richtigkeit der bereitgestellten Informationen.

Danksagung und Grußwort



Die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Koppelprodukte ist in den vergangenen Jahren von zunehmendem Interesse für die Betreiber von Biogasanlagen, die auf der Suche nach kostengünstigen alternativen

Einsatzstoffen zu den bisherigen Energiepflanzen sind. Gleichzeitig stehen die Betreiber vor anlagen- und prozesstechnischen Herausforderungen, sobald ein vermehrter Einsatz an Koppelprodukten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen erfolgt. Das zeigt die Grenzen der bisher genutzten Anlagenkonzepte und verwendeten Technik auf.

Wie können Koppelprodukte zukünftig möglichst effizient und wirtschaftlich eingesetzt werden? Welche Anpassungen der Anlagentechnik und in der Prozessführung sind notwendig, um die Einsatzstoffmengen signifikant steigern zu können und welche soziologischen Einflüsse hat die Nutzung von Mist, Stroh und Landschaftspflegegras?

Diese Fragen lassen sich nicht allgemeingültig beantworten, denn die faserhaltigen Einsatzstoffe unterscheiden sich in ihrer Beschaffenheit genauso wie die vielen bestehenden Konzepte landwirtschaftlicher Biogasanlagen.

Daher ist es notwendig, die Anforderungen an den Anlagenbetrieb zu evaluieren und individuelle Lösungsmöglichkeiten für jede Betriebssituation zu erarbeiten. Dies erfordert ein umfassendes Wissen über die Eigenschaften der Koppelprodukte und eine zielgerichtete Methodik für die Auswahl passender anlagen- und prozesstechnischer Optimierungsmaßnahmen. Die vorliegende Handreichung bietet Ihnen dazu eine belastbare Hilfestellung.

Um die Effekte des Einsatzes solcher Substrate auf den Betrieb bestehender Biogasanlagen hinreichend

bewerten zu können, fließen insbesondere die gesammelten Erfahrungen von Anlagenbetreibern und die umfassende Auswertung eruiertener Messdaten an ausgewählten Praxisanlagen in diese Handreichung ein.

Dieses Vorhaben wäre ohne finanzielle Unterstützung nicht möglich gewesen. Einen besonderen Dank richten wir daher an das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft sowie der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. als Projektträger, die mit den bereitgestellten finanziellen Mitteln die erfolgreiche Umsetzung des Projektvorhabens ermöglicht haben.

Zudem gilt ein großer Dank den Betreibern der Praxisanlagen für ihre großartige Unterstützung im Projekt und ihre Offenheit, um die Untersuchungen durchführen zu können.

Nicht zuletzt möchten wir uns bei unseren Partnern aus dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. und dem C.A.R.M.E.N. e.V. bedanken, die gemeinsam mit uns in den letzten drei Jahren mit großer Einsatzbereitschaft und stets zuverlässiger Zusammenarbeit den gelungenen Projektabschluss möglich gemacht haben.

Wir wünschen Ihnen beim Studieren des Leitfadens viel Freude und wertvolle Erkenntnisse für den gesteigerten Einsatz von Koppelprodukten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen.

Ihr Wilfried Zörner

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Koppelprodukte – ja bitte! | 6 |
| 2. Gebrauchsanweisung für den Leitfaden | 7 |
| 3. Übersicht wichtiger Kennzahlen | 9 |
| 4. Vorgehensweise für die Betreibenden | 11 |
| 4.1 Substratpotenzial nutzen | 11 |
| 4.1.1 Lokale Verfügbarkeit von Koppelprodukten | 11 |
| 4.1.2 Argumentationshilfe bei der Beschaffung von Koppelprodukten | 13 |
| 4.1.3 Übersicht zu den genehmigungsrechtlichen Anforderungen | 15 |
| 4.1.4 Ermittlung der erforderlichen Logistik für die verfügbaren Koppelprodukte | 17 |
| 4.2 Prozess- und Anlagentechnik | 23 |
| 4.2.1 Koppelprodukte – ihre Eigenschaften und Besonderheiten | 23 |
| 4.2.2 Mythen zum Koppelprodukteinsatz | 29 |
| 4.2.3 Steigerung des Koppelprodukteinsatzes in der Biogasanlage | 34 |
| 4.3 Wirtschaftlichkeit | 44 |
| 4.3.1 Methodik bei der wirtschaftlichen Kalkulation | 44 |
| 4.3.2 Treibhausgasbilanz – eine Beispielberechnung | 50 |
| 4.4 Akzeptanz | 53 |
| 4.4.1 Akzeptanz in der Landwirtschaft steigern | 54 |
| 4.4.2 Akzeptanz bei den Naturschutzverbänden | 54 |
| 4.4.2 Akzeptanz in der Bevölkerung | 55 |
| 5. Schlusswort | 56 |
| 6. Anhang | 60 |

1. Koppelprodukte – ja bitte!

Zunächst ist es wichtig zu erläutern, was nachfolgend unter dem Begriff landwirtschaftliche Koppelprodukte verstanden wird. Dies sind Stoffe, die bei der Produktion, Ernte oder Verarbeitung von Hauptprodukten in landwirtschaftlichen Betrieben als Nebenprodukte anfallen. Obwohl der Begriff „Reststoffe“ im Projektnamen auftaucht, soll hier gezielt davon Abstand genommen werden, da diese Bezeichnung einen negativen Eindruck suggeriert. Deshalb wird ab sofort ausschließlich der Ausdruck Koppelprodukte dafür verwendet. Die Substrate sind Produkte, die energetisch genutzt werden können und auch sollen.

In diesem Leitfaden liegt der Fokus auf den drei Substraten Mist, Stroh und Landschaftspflegegras, da diese deutschlandweit ein großes, noch ungenutztes Potenzial aufweisen. Nach Schätzungen des Deutschen Biomasse-Forschungs-Zentrums gibt es allein in Deutschland jährlich 14,5 Mio. Tonnen Trockensubstanz an ungenutztem und erschließbarem Potenzial für diese drei Stoffe. Dies entspricht nach Angaben der FNR etwa der Menge der in Deutschland in Biogasanlagen eingesetzten Maissilage (Trockensubstanz). Da Landschaftspflegegras stark schwankende Qualitäten aufweisen kann, wurde im Leitfaden der Fokus auf schwer vergärbare Fraktionen mit hohem Ligninanteil gelegt.

Neben den großen vorhandenen Potenzialen bringt der Einsatz von landwirtschaftlichen Koppelprodukten viele weitere Vorteile mit sich. Einer der wohl wichtigsten Punkte ist die erhöhte Akzeptanz, die mit dem Einsatz von Koppelprodukten einhergeht. Zwar ist der Anbau von Energiepflanzen durchaus nachhaltig, allerdings wird dieser in der Bevölkerung teilweise als kritisch betrachtet.

Des Weiteren wird durch den Einsatz von Koppelprodukten innerhalb der Landwirtschaft der Pachtmarkt entlastet.

Da Koppelprodukte ohnehin im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion anfallen, entstehen dafür keine zusätzlichen Kosten. Da bei vielen Anlagen die Substratkosten mehr als die Hälfte der jähr-

lichen Kosten ausmachen, entsteht durch die Nutzung von kostenfreien oder kostengünstigen Substraten ein großer Hebel für die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage. Zudem werden den genannten Koppelprodukten nur geringe Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette zugeordnet, was wiederum ein zusätzlicher wirtschaftlicher Vorteil, z. B. bei der Vermarktung von Biomethan als Kraftstoff, sein kann.

Neben den bereits genannten Vorteilen bestehen auch gesetzliche Beschränkungen des Energiepflanzeneinsatzes, nämlich der sog. „Maisdeckel“. Er schreibt vor, dass Biogasanlagen, die sich in der Ausschreibung befinden, maximal 40 Masseprozent Getreidekorn, Mais-GPS, Maiskorn-Spindel-Gemisch, Körnermais und Lieschkolbenschrot einsetzen dürfen. Dieser Anteil verringert sich nach EEG 2023 bis 2026 auf 30 % für dann neu bezuschlagte Anlagen. Ein Blick zurück zeigt, dass ab dem EEG 2004 der Einsatz von NawaRos forciert und gefördert wurde, sodass Koppelprodukte, die zuvor teilweise bereits eingesetzt wurden, eine Zeit lang in den Hintergrund gerückt sind. 2012 wurde der Einsatz von Energiepflanzen erstmals eingeschränkt. Diese Einschränkungen wurden im Laufe der Zeit verschärft und der Einsatz alternativer Substrate, insbesondere Wirtschaftsdünger, unterstützt. Aktuell befinden sich weitere Regelwerke in der Erarbeitung, die sich voraussichtlich auch auf den Substrateinsatz auswirken werden (Nachhaltige Biomassestrategie, RED III).

Der Einsatz von Koppelprodukten kann also vielseitige positive Effekte mit sich bringen, angefangen von der verbesserten Akzeptanz, über die Reduzierung der THG-Emissionen bis hin zum Einhalten gesetzlicher Vorgaben. Zudem wird innerlandwirtschaftlich der Pachtmarkt entlastet, zusätzliche Wertschöpfung generiert und die Wirtschaftlichkeit möglicherweise gesteigert. Allerdings sind vor einer Änderung der Einsatzstoffe die damit verbundenen Herausforderungen zu bewältigen, z. B. ob der vorhandene Genehmigungsbescheid dies abdeckt.

2. Gebrauchsanweisung für den Leitfaden

Es gibt vielerlei Gründe, sich mit dem Einsatz von Koppelprodukten zu beschäftigen. Einige davon wurden im vorigen Kapitel genannt. Aber natürlich lässt sich eine Umstellung auf den verstärkten Einsatz von Mist, Stroh oder Landschaftspflegegras nicht von heute auf morgen umsetzen, sondern bedarf einer sorgfältigen Planung. Der vorliegende Leitfaden stellt die Vorteile, aber auch die Herausforderungen der einzelnen Substrate dar und bietet Hilfestellung bei den verschiedenen Etappen auf dem Weg zur Koppelprodukt-Biogasanlage.

Im nachfolgenden Kapitel 3 werden zunächst einige Kennzahlen genannt, die für die Planungen eine wichtige Rolle spielen. Bekanntermaßen geht nichts über anlagen- bzw. projektspezifische Werte – seien es nun Substratpreise, Gasausbeuten oder sonstige Zahlen. Da diese aber insbesondere in einem frühen Planungsstadium noch nicht oder nur teilweise zur Verfügung stehen, können die dort zu findenden Zahlen bei den ersten Überlegungen eine wichtige Rolle spielen.

Was ist aber nun eine sinnvolle Vorgehensweise für einen Betreibenden, der abschätzen möchte, ob der Einsatz von Koppelprodukten in der eigenen Biogasanlage möglich und sinnvoll ist? Dies wird im zentralen Kapitel 4 nach und nach vorgestellt. Da wo es möglich ist, beziehen sich die Hinweise auf alle drei Einsatzstoffe gemeinsam. Nicht selten hat aber jedes Koppelprodukt seine eigenen Besonderheiten – in diesem Fall werden substratspezifische Ratschläge unterstützt von einem Farbleitsystem gegeben.



Abb. 1: Farbleitsystem

Zunächst wird in Kapitel 4.1.1 eine Methodik vorgestellt, mit der überprüft werden kann, ob, und wenn ja, welche Koppelprodukte in ausreichenden Mengen in einem vertretbaren Radius um die Biogasanlage zur Verfügung stehen. Häufig scheidet hier schon mindestens eines der drei LaRA-Substrate aus.

Existiert nun lokal ein ausreichendes (theoretisches) Potenzial, bedeutet das noch nicht automatisch, dass die Substrate auch eingesetzt werden können. Nicht jeder landwirtschaftliche Betrieb ist bereit, seine Koppelprodukte an eine Biogasanlage abzugeben, selbst wenn das entstehende Gärprodukt wieder zurückgeliefert wird. Einigen häufig bestehenden Befürchtungen werden in Kapitel 4.1.2 Fakten, die dies widerlegen, gegenübergestellt. Darüber hinaus werden für die einzelnen Koppelprodukte Argumente vorgestellt, mit denen der Lieferbetrieb überzeugt werden kann.

Der erstmalige Einsatz von Koppelprodukten erfordert – unabhängig davon ob noch baulich-technische Maßnahmen hinzukommen – eine Anpassung der Genehmigung. Welche Rechtsbereiche betroffen sind, was zu beachten und was auf jeden Fall zu vermeiden ist, wird in Kapitel 4.1.3 erläutert.

Der Betrieb einer Biogasanlage beinhaltet immer logistische Herausforderungen. Beim (teilweisen) Umstieg auf Mist, Stroh oder Landschaftspflegegras muss auch dieses Thema neu angegangen werden. Beginnend bei Ernte und Beschaffung über den Transport bis hin zur Lagerung an der Anlage werden in Kapitel 4.1.4 für die einzelnen Koppelprodukte spezifische Herausforderungen mit den entsprechenden Lösungen vorgestellt und insbesondere Vor- und Nachteile verschiedener technischer Verfahren diskutiert.



Liegen nun genehmigungskonform die entsprechenden Mengen an Koppelprodukten im Silo oder einem sonstigen Lager, steht vor dem Einsatz in der Biogasanlage noch die Frage, ob, und wenn ja, welche technischen und prozessbiologischen Herausforderungen gelöst werden müssen. Die Beantwortung nimmt nun anschließend einen zentralen Platz im Leitfaden in Kapitel 4.2 ein. Da in den meisten Fällen der Einsatz von Koppelprodukten mit einer Steigerung der Einsatzstoffmengen einhergeht, wird zunächst eine Methode zur Berechnung des jeweiligen Austauschverhältnisses vorgestellt. Eine weitere wichtige Botschaft ist, dass der Umstieg nur dann sinnvoll ist, wenn die Biogasanlage noch technische und biologische Reserven hat. Zu diesem Zweck wurde eine Checkliste entworfen, anhand der Schwachstellen im Anlagenbetrieb identifiziert werden können, die einem Einsatz von Mist, Stroh oder Landschaftspflegegras im Weg stehen. Selbstverständlich werden auch Maßnahmen zur Behebung dieser Schwachstellen vorgestellt.

Ein weiteres Element ist ein „Mythoscheck“, der Hypothesen bezüglich der Auswirkungen des Einsatzes von Koppelprodukten in Biogasanlagen bewertet und Maßnahmen darstellt, mit denen ein stabiler und effizienter Anlagenbetrieb sichergestellt werden kann.

Über allen Gesichtspunkten hinsichtlich der Sinnhaftigkeit des Umstiegs auf Koppelprodukte steht die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme. Daher wird in Kapitel 4.3 erläutert, wie diese abgeschätzt werden kann. Neben der Beschreibung der Einflussfaktoren auf die Strom- bzw. Gasgestehungskosten und der Auswirkungen auf die EEG-Einnahmeseite werden beispielhaft für eine Anlage zwei Umstiegsszenarien kalkuliert.

Nicht nur beim Einstieg in den Kraftstoffmarkt, sondern auch beim klassischen KWK-Betrieb (RED II) spielen Treibhausgasbilanzen eine immer wichtigere Rolle. Daher werden auch zu diesem Thema wichtige Rahmenbedingungen erläutert und mit einem Rechenbeispiel abgerundet.

Ein „weicher“, aber nicht zu unterschätzender Faktor bei Projekten im Energiebereich stellt die brancheninterne sowie die gesellschaftliche Akzeptanz dar. Basierend auf den Ergebnissen verschiedener Umfragen im Rahmen des Projekts werden in Kapitel 4.4 die Einstellungen der verschiedenen Gruppen zum Einsatz von Koppelprodukten vorgestellt.

3. Übersicht wichtiger Kennzahlen

Tabelle 1: Kennzahlen im Vergleich

| Substrat | TS % FM | oTS % TS | Biogas- ertrag Nm ³ /t oTS | Methan- gehalt % | Methan- ertrag Nm ³ /t oTS | Methan- ertrag Nm ³ /t FM | Gär- produkt- menge t/t FM | Kosten €/t | Raum- gewicht t/m ³ |
|---|------------|-------------|---|------------------------|---|--|-------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| | 1), 2) | 1), 2) | 1), 2) | 1), 2) | 1), 2) | 1), 2) | 1), 2) | 3) | 3), 4) |
| Koppelprodukte | | | | | | | | | |
| <i>Festmist</i> | | | | | | | | | |
| Geflügelmist | 47 | 82 | 478 | 61 | 289 | 111 | 0,78 | 25 | 0,75 |
| Rindermist | 25 | 85 | 445 | 58 | 258 | 55 | 0,88 | 7 | 0,75 |
| Pferdemist | 31 | 80 | 416 | 56 | 233 | 58 | 0,87 | 7 | 0,60 |
| <i>Stroh</i> | | | | | | | | | |
| Getreidestroh | 90 | 94 | 460 | 53 | 243 | 206 | 0,49 | 45 | 0,12 |
| Maisstroh | 40 | 92 | 575 | 52 | 301 | 112 | 0,72 | 25 | 0,20 |
| <i>Lapf</i> | | | | | | | | | |
| Landschafts- pflegegras | 32 | 88 | 435 | 54 | 233 | 66 | 0,84 | 30 | 0,25 |
| Andere Wirtschaftsdünger und Nachwachsende Rohstoffe | | | | | | | | | |
| Maissilage | 35 | 96 | 658 | 54 | 355 | 120 | 0,72 | 40 | 0,70 |
| Getreide - GPS | 33 | 94 | 625 | 56 | 350 | 110 | 0,75 | 40 | 0,75 |
| Zuckerrüben | 23 | 84 | 647 | 53 | 343 | 66 | 0,84 | 33 | 0,90 |
| Grassilage | 32 | 90 | 566 | 56 | 317 | 91 | 0,79 | 30 | 0,55 |
| Getreidekorn | 85 | 96 | 725 | 56 | 405 | 330 | 0,25 | 180 | 0,75 |
| Rindergülle | 9 | 79 | 384 | 60 | 230 | 16 | 0,97 | 3 | 1,00 |
| Schweine- gülle | 5 | 75 | 400 | 65 | 260 | 10 | 0,98 | 3 | 1,00 |

Kosten sind Momentaufnahmen und dienen nur der Orientierung.

Quellen: 1) Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, KTBL (2021); 2) Messungen und Berechnungen im Projekt LaRA; 3) Abschätzungen basierend auf Projektdaten; 4) Betriebsplanung Landwirtschaft 2022/23, KTBL (2022)

In der Tabelle 1 sind für die im LaRA-Projekt untersuchten Koppelprodukte sowie für weitere gängige Einsatzstoffe von landwirtschaftlichen Biogasanlagen zum Vergleich Kennzahlen bezüglich der Lagerung und zu erwartenden Gasproduktion zusammengefasst. Zusätzlich sind zur Orientierung aktuelle Preise für die Substrate aufgeführt. Die Daten wurden basierend auf den im Projekt gewonnenen Messwerten unter Einbeziehung von Kenndaten aus der Literatur zusammengestellt. Sie können für eine erste Abschätzung der Substrateigenschaften und zu erwartenden Änderungen bei Umstellung des Biogasanlagenbetriebes auf den Einsatz von

Koppelprodukten oder eine überschlägigen Prozessbewertung herangezogen werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei den Koppelprodukten um inhomogene Materialien handelt, deren Substrateigenschaften sehr stark variieren können und von Herkunft, Erntebedingungen, Lagerung und anderen speziellen Gegebenheiten des Substratanfalls abhängen (siehe Kapitel 4.2.1). Bei konkreten Vorhaben zur Umstellung auf den Koppelprodukteinsatz oder einer detaillierten Prozessbewertung ist daher unbedingt die Analyse und Untersuchung eigener Substrate zu empfehlen (siehe Kapitel 4.2.3).



4. Vorgehensweise für die Betreibenden

4.1 Substratpotenzial nutzen

4.1.1 Lokale Verfügbarkeit von Koppelprodukten

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Umstellung auf Koppelprodukte ist ihre nachhaltige Verfügbarkeit über einen langen Zeitraum zu stabilen und möglichst prognostizierbaren Konditionen, da ansonsten eine seriöse Planung sehr schwierig ist. Die Herausforderungen, die bei der Beschaffung (Ernte, Transport, Lagerung) von Koppelprodukten auf den Betreibenden zukommen, sind anders zu bewerten als bei NawaRo-Substraten.



Darüber hinaus erfordert der Koppelprodukteinsatz Anpassungen im täglichen Anlagenbetrieb und oft auch an der Technik. Eine entsprechende Amortisationszeit und ein höheres Arbeitsaufkommen ist hier von Anfang an einzukalkulieren.

Die Grafik rechts (Datenquelle DBFZ) zeigt auf, in welche Sparten sich das Potenzial an hier betrachteten Koppelprodukten gliedert. Die Verteilung der jeweiligen Substrate ist regional unterschiedlich und stellt gleichzeitig den ersten Planungsparameter da. In ackerbaustarken Regionen fällt vorwiegend Stroh an, in Gegenden mit hoher Viehdichte bietet Mist das größte Potenzial. Landschaftspflegegras findet sich dagegen deutschlandweit, allerdings nur auf lokal begrenzten Einzelflächen. Bei diesem Einsatzstoff ist vor allem auf die Einstufung nach Abfallrecht zu achten. Als nutzbares Potenzial kann nur herangezogen werden, was auch genehmigungsfähig ist (siehe Kap. 4.1.3).

Sollte man sich in einer Ackerbauregion befinden, gilt es zu prüfen, ob beispielsweise nur Silomais angebaut wird oder auch Körnermais eine Rolle spielt, weil nur dann ein nutzbares Koppelprodukt anfällt. Ein vorhandenes Potenzial bedeutet aber noch nicht automatisch, dass der Einsatz des Koppelprodukts auch wirtschaftlich darstellbar ist. Daher sollte sich der Betreibende im nächsten Schritt Gedanken über

die anfallenden Kosten machen. Diese setzen sich aus dem reinen Substratpreis ab Feld oder Hof, den Ernte-, (Ver-) Lade- und Transportkosten (Koppelproduktabfuhr und möglicherweise Gärproduktrückfuhr) zusammen.

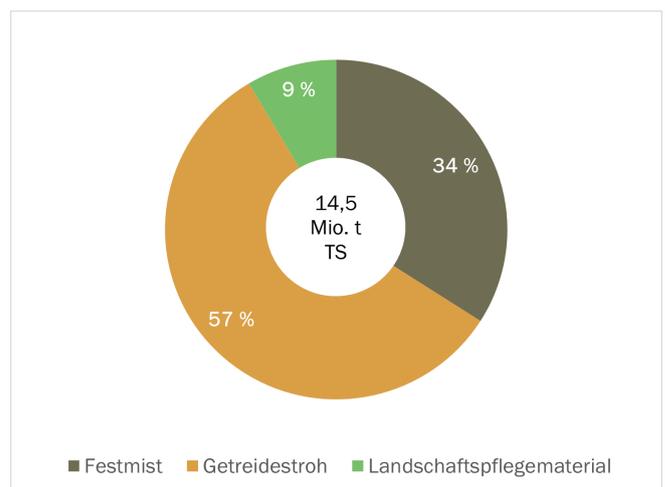


Abb. 2: Aufteilung des ungenutzten Potenzials nach Koppelprodukten

Mit der nachfolgenden Gleichung lässt sich die maximale Transportentfernung berechnen, bis zu der der Einsatz des Koppelprodukts gegenüber dem Einsatz von z. B. Maissilage vorzuzüglich ist.

$$\text{Kosten frei Anlage} = \text{SP} + \text{ggf. EK} + \text{LK} + \underbrace{\text{TK KP} * \text{TE KP}}_{\text{Transportkosten KP}} + \underbrace{\text{ggf. TK GP} * \text{TE GP}}_{\text{Transportkosten GP}}$$

SP: Substratpreis [€/t]

EK: Erntekosten [€/t]

LK: Ladekosten [€/t]

TK KP: spez. Transportkosten Koppelprodukt [€/(t*km)]

TE KP: Transportentfernung Koppelprodukt [km]

TK GP: spez. Transportkosten Gärprodukt [€/(t*km)]

TE GP: Transportentfernung Gärprodukt [km]

Aufgrund der geringeren Energiedichte und Raumgewichte der Koppelprodukte liegen die spezifischen Transportkosten teilweise deutlich über denen von Energiepflanzen (-silagen).

Beispielberechnung:

Soll bei gleichbleibendem Methanertrag Maissilage, die zu einem Preis von 40 €/t frei Anlage zur Verfügung steht, durch Maisstroh ersetzt werden, darf dieses gemäß dem im Projekt ermittelten Austauschverhältnis (s. Abb. 14, S. 25) nicht mehr als 30 €/t kosten. Aus der Praxis wurden vereinfachend für die Transportkosten des Gärprodukts ein pauschaler entfernungsunabhängiger Wert von 5 €/t angesetzt.

Für die weiteren Posten werden folgende Ansätze gewählt:

Tabelle 2: Beispielhafte Kostenansätze

| Posten | SP | EK | LK | TK KP | TK GP * TE GP |
|--------|----------|----------|----------|---------------|---------------|
| Ansatz | 0,00 €/t | 5,00 €/t | 4,50 €/t | 0,60 €/(t*km) | 5,00 €/t |

Löst man die obige Formel nach „TE KP“ auf, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\text{TE KP} = \frac{\text{Kosten frei Anlage} - \text{SP} - \text{EK} - \text{LK} - \text{ggf. TK GP} * \text{TE GP}}{\text{TK KP}}$$

Setzt man nun die Werte ein, erhält man eine maximale Transportentfernung von 25,8 km.

Mit dem Wissen um die maximale Transportentfernung können nun die Betriebe identifiziert werden, deren Viehbestände bzw. Ackerflächen als Substratquelle in Frage kommen. Entweder dem Betreibenden ist bekannt, in welchen umliegenden Betrieben Koppelprodukte anfallen, oder er findet dies durch persönliche Kontaktaufnahme heraus.

Als letzten Schritt, gilt es diese potenziellen Lieferbetriebe zu überzeugen. Obwohl viele Gründe auch aus deren Sicht für den Einsatz ihrer Koppelprodukte

in Biogasanlagen sprechen, bestehen vielfach Befürchtungen, die einer Lieferbeziehung im Weg stehen. Mit welchen Methoden und Argumenten trotzdem eine erfolgreiche Partnerschaft erreicht werden kann, wird im folgenden Kapitel dargestellt.

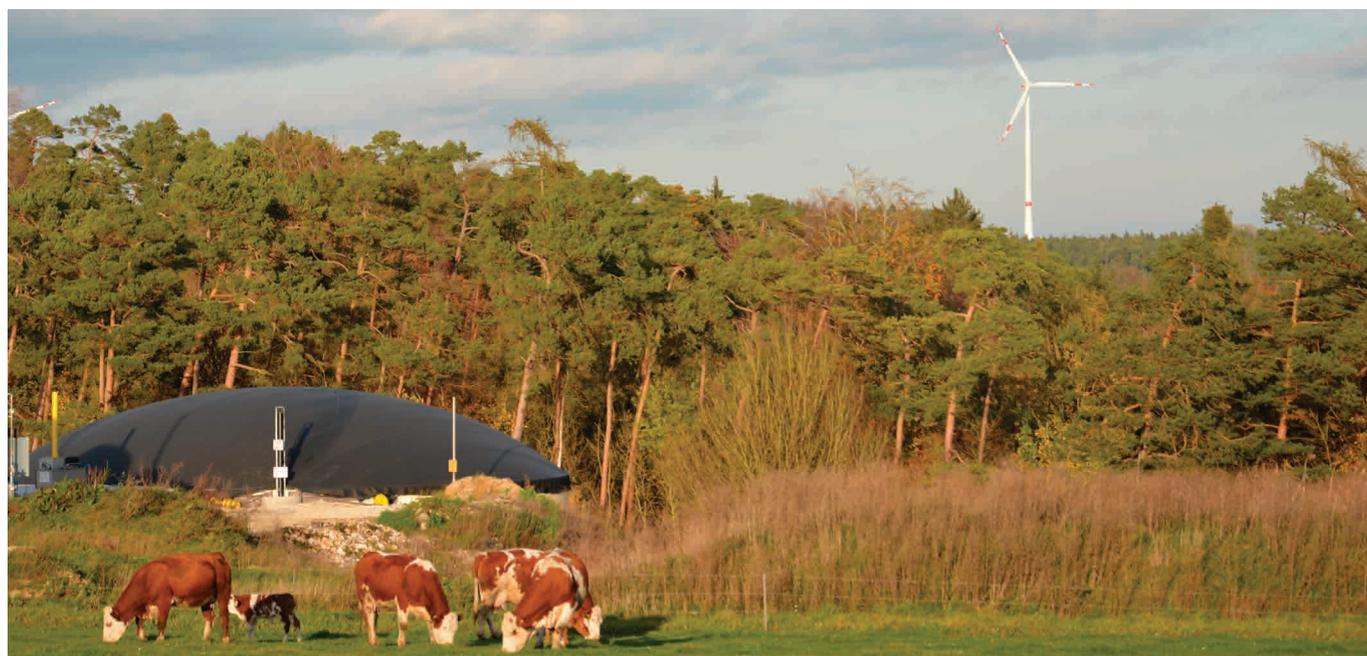
4.1.2 Argumentationshilfe bei der Beschaffung von Koppelprodukten

Grundsätzlich bietet es sich an, Partnerschaftskonzepte zu entwickeln, von denen sowohl der liefernde Betrieb als auch der Biogasbetreibende gleichermaßen profitieren. Um Befürchtungen aus der Landwirt-

schaft vorzubeugen, folgt ein kurzer **Faktencheck**, der als Argumentationshilfe bei der Suche nach substratliefernden Betrieben dienen kann.

Tabelle 3: Faktencheck - Beschaffung von Koppelprodukten

| Befürchtung | Fakt |
|--|--|
| Humusbilanz leidet bei Strohabfuhr vom Acker | Wird Gärprodukt zurückgeführt, ergeben sich keine negativen Auswirkungen auf die Humusbilanz. Auch bei der Strohhotte am Acker wird der leicht umsetzbare Teil des Kohlenstoffs sofort umgesetzt und geht in Form von CO ₂ verloren. Dabei bleibt im Gesamtergebnis nicht mehr Dauerhumus übrig als bei Nutzung in der Biogasanlage und Gärprodukt rückführung. |
| Bodenlebewesen, insbesondere Regenwürmer, verhungern bei Strohabfuhr | Es wurde nachgewiesen, dass dies nicht der Fall ist, sondern sich eine Düngung mit Gärprodukt sogar positiv auf das Bodenleben auswirkt . |
| Düngewirkung des Gärprodukts ist schlechter als bei Mist | Tatsächlich erhöht sich die Düngewirkung , was durch langjährige Feldversuche und die Einstufung in der Düngeverordnung bestätigt wurde. |
| Erreger werden vermehrt | Das Gegenteil ist der Fall. Durch die Fermentation werden Substrate hygienisiert und viele Erreger wie Viren, Parasiten, Bakterien, Pilze, Würmer, Unkrautsamen und Schädlinge werden dezimiert. |



Weitere Argumente für die Lieferung von Koppelprodukten bei gleichzeitiger Gärproduktabnahme bietet nachfolgende Checkliste. Trifft das Argument

für das jeweilige Koppelprodukt zu, so ist dies mit einem Punkt in der entsprechenden Farbe gekennzeichnet.

Tabelle 4: Argumente für die Lieferung von Koppelprodukten

| Argument | Gilt für | | |
|---|----------|-------|------|
| | Mist | Stroh | Lapf |
| Regionale Wertschöpfung und Zusammenarbeit | ● | ● | ● |
| Energieerzeugung aus bisher ungenutzten Koppelprodukten | ● | ● | ● |
| Reduzierung von Klimaemissionen | ● | ● | ● |
| Monetärer Vorteil | ● | ● | ● |
| Verbesserung der Nährstoffverfügbarkeit auf dem Acker | ● | ● | |
| Verbessertes Düngemanagement | ● | ● | |
| Steigerung der Erträge und Qualitäten insbesondere im Ökolandbau | ● | ● | |
| Kostensparnis gegenüber dem Zukauf von Mineraldünger | ● | ● | |
| Reduzierung von Geruchsemissionen und Luftschadstoffen (z. B. Ammoniak) | ● | | |
| Einsparung des Arbeitsaufwandes für die Mistausbringung | ● | | |
| Verbesserung der Hygiene beim viehhaltenden Betrieb durch Mistabfuhr | ● | | |
| Erleichterung der Grünlanddüngung durch Vergärung und Separation (flüssige Phase zur Grünlanddüngung und feste Phase zum Humusaufbau auf dem Acker) | ● | | |
| Sicherer Abbau des Stroh in der Biogasanlage mit Ligninrückführung zur Bildung von Dauerhumus | | ● | |
| Erleichterung der Bewirtschaftung insbesondere in Roten Gebieten (Verhinderung einer ungenügenden Strohhütte durch Strohabfuhr) | | ● | |
| Vermeidung von Strohmatte im Boden und somit negativer Auswirkungen auf die Folgefrucht | | ● | |
| Unterbrechung von Krankheitsbrücken (Phytohygiene) | | ● | |
| Vermeidung der Kalium-Auswaschung bei der Strohhütte auf sandigen Böden | | ● | |
| Einsparung eines Arbeitsganges im Ackerbau durch Bergung durch Biogasanlagenbetrie-benden (Maisstroh) | | ● | |
| Kostensparnis durch Substratübernahme | | | ● |

4.1.3 Übersicht zu den genehmigungsrechtlichen Anforderungen

Nahezu jeder Biogasanlagenbetrieb musste schon einmal wegen Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen oder des eigenen Betriebskonzepts bei der zuständigen Genehmigungsbehörde die entsprechenden Maßnahmen genehmigen lassen oder zumindest anzeigen. Auch der erstmalige Einsatz von Koppelprodukten kann sich zum Teil sehr stark auf die Genehmigungssituation auswirken.

*Oberster Grundsatz:
"Nichts machen, was nicht genehmigt ist!"*

Wie bei jeder genehmigungsrelevanten Änderung sollte auch beim geplanten Einsatz von Koppelprodukten im Vorfeld das Gespräch mit der Genehmigungsbehörde gesucht werden. Insbesondere bei BImSchG-Anlagen gilt es abzuklären, ob eine Änderungsanzeige nach §15 BImSchG ausreicht, oder ob es sich um eine wesentliche Änderung handelt und damit eine Genehmigungsanpassung nach §16 BImSchG notwendig wird.

Der Wechsel der Einsatzstoffe hin zu Koppelprodukten hat meist Auswirkungen auf Logistik und Lagerung. Daher sollte man sich im Klaren sein, dass eventuell eine Änderungsgenehmigung nötig ist.

Für weitere Informationen kann beispielsweise im Biogashandbuch Bayern nachgeschlagen werden.

Im LaRA-Projekt lag der Fokus auf dem Einsatz von Koppelprodukten. Deshalb wird hier nur auf die Änderung

der Substratseite inklusive daraus resultierender baulich-technischer Anpassungen näher eingegangen. Dabei werden die genehmigungsrelevanten Auswirkungen für die einzelnen Koppelprodukte, bezogen auf die einschlägigen Rechtsbereiche, dargestellt. In diesem Rahmen ist es lediglich möglich, einen Gesamtüberblick zu geben, da jede Anlage individuelle Eigenschaften hat, die wiederum Konsequenzen auf die Beurteilung der Genehmigungsrelevanz haben.

So ist beispielsweise ein erhöhtes Transportaufkommen bei einer Anlage in der Nähe zu Wohnbebauung oder Wald anders zu bewerten als bei einer alleinstehenden Anlage im landwirtschaftlichen Außenbereich.

Darüber hinaus lassen sich erhebliche Unterschiede zwischen den Bundesländern und teilweise auch innerhalb eines Bundeslandes festzustellen, was die Einstufung durch Genehmigungsbehörden angeht.

Die wichtigsten betroffenen Rechtsbereiche sind Immissionsschutz-, Wasser-, Veterinär- und Abfallrecht. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick darüber, welcher Bereich bei welchem Koppelprodukt besonders beachtet werden muss. Diese Einstufung spiegelt die Fachmeinung der Autoren wider und muss im Einzelfall mit der Genehmigungsbehörde abgeklärt werden.

Tabelle 5: Betroffene Rechtsbereiche

| | Mist | Stroh | Lapf |
|-----------------------|------------------------------|-------|---------|
| Immissionsschutzrecht | X | X | X |
| Wasserrecht | Landwirtschaftliche Herkunft | | |
| Veterinärrecht | X | | |
| Abfallrecht | WiDü | | Produkt |



Bei jedem Koppelprodukt betroffen ist das Immissionschutzrecht. Dabei muss vor allem bei Mist die Lagerung beachtet werden. So ist eine längere Mistlagerung auf offener Siloplatte in der Regel nicht zulässig, da eine Wiedervernässung, die mit Geruchs- und Ammoniakimmissionen einhergeht, auf jeden Fall auszuschließen ist. Daher kann es beim Einsatz von Mist notwendig werden, eine spezielle Lagerhalle zu bauen. Des Weiteren wird je nach Genehmigungsbehörde eine zusätzliche Abdeckung vorgeschrieben, um einen besseren Schutz zu gewährleisten.

Das Thema Abdeckung findet sich auch beim Transport wieder. Nur durch eine ausreichende Abdeckung können hier Verluste vermieden. Da in Genehmigungen häufig auch die Substratlogistik geregelt wird, erfordert der Einsatz von Koppelprodukten aufgrund des in Kapitel 4.1.4 beschriebenen höheren Transportbedarfs entsprechende Anpassungen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass beim Transport von Mist im Vergleich zu Silage andere Fahrzeuge vorgeschrieben werden. Auf jeden Fall müssen die Transportfahrzeuge für das jeweilige Material geeignet sein. Dies reicht von der einfachen Netzabdeckung für Silage- und Strohtransporte bis zu regendichten Abdeckungen für Misttransport.

Von Seiten des Wasserrechts steht vor allem der Lagerraum im Mittelpunkt. Durch Einsatz von Koppelprodukten wird in der Regel mehr Masse für die gleiche Leistung benötigt, da Mist, Stroh und Landschaftspflegegras in aller Regel weniger Energie je m³ enthalten als beispielsweise Maissilage. Es muss jederzeit gewährleistet sein, dass kein Sickersaft,

Jauche, aber auch verschmutztes Regenwasser ins Grundwasser gelangt. Entsprechend ist die Lagerstätte auf Lagervolumen und Eignung zu überprüfen.

Veterinärrechtliche Auflagen entstehen im Wesentlichen beim Einsatz von Mist. Die Behörde unterscheidet hier drei Kategorien: Fremd, Eigen und Mischung Fremd-Eigen. Die Unterscheidung zielt auf die Kreuzkontaminationen bei der gemeinsamen Mistlagerung und dem Wiederinverkehrbringen des Gärprodukts ab. Die genauen Bestimmungen können in der TierNebV (Tierische Nebenprodukte Beseitigungsverordnung) nachgelesen werden. Besonderes Augenmerk gilt hier Teil 3 und 4. Die beiden anderen Koppelprodukte (Stroh und Lapf) werden von Seiten des Veterinärrechts als unproblematisch eingestuft.

Es empfiehlt sich allerdings immer Rücksprache zu halten, um eventuelle Komplikationen in einem Tierseuchenfall zu vermeiden.

Beim Landschaftspflegematerial steht im Rahmen der Genehmigung anfangs immer die Frage, ob es sich beim entsprechenden Material um ein Produkt handelt oder nicht. Wird das Material dem Abfallrecht zugeordnet, bedeutet dies komplett andere Auflagen beim Bau, beim Betrieb oder auch bei der Verbringung des Gärprodukts. Entscheidend ist hier der sogenannte „Entledigungswille“.

Weiterführende Literatur:

*Biogashandbuch Bayern,
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)*

4.1.4 Ermittlung der erforderlichen Logistik für die verfügbaren Koppelprodukte

Der wirtschaftliche Einsatz von Koppelprodukten erfordert bereits bei der Beschaffung ein kosteneffizientes Gesamtkonzept. Wann welche Techniken für die Ernte, den Transport und die Lagerung zum Einsatz kommen und welche logistischen Herausforderungen in der Praxis bestehen, werden in diesem Kapitel erläutert.

Festmist

Für die Biogaserzeugung typische Arten von Festmist sind Rinder-, Pferde- und Geflügel- bzw. Hühnermist, deren Gemeinsamkeiten und Besonderheiten nachfolgend beschrieben werden.

Beschaffung und Transport

Was gilt es bei der Beschaffung von Festmist zu beachten:

- Jahreszeitliche Schwankungen (Menge, TS-Gehalt)
- Qualitätsschwankungen je nach Intervall des Ausmistens
- Arbeits- und Zeitaufwand bei der Beschaffung vs. Kosten für Anlieferung durch Lohnunternehmen
- Schwankende Störstoffanteile abhängig von Mistart, Tierhaltung und Stallbedingungen
- Lange Liefer- und Lagerzeiten vermeiden (Qualitätsverluste durch Wärmeentwicklung)
- Genehmigungsaufgaben bezüglich Lagerung und Transport beachten (siehe Kapitel 4.1.3)

Bei hofeigener Tierhaltung und geringen Entfernungen zur Biogasanlage (Betreiberangabe: bis 300 m) kann der Festmist direkt mit dem Teleskop- oder Radlader zur Einbringung oder Siloplatte gefahren werden. Bei längeren Transportwegen wird der Mist vorab in Containern bzw. Anhängern oder auf der Siloplatte gelagert und gesammelt zur Biogasanlage gefahren. Für kurze Transportwege kommen

Traktoren mit Anhänger zum Einsatz. Bei größeren Distanzen, mehreren Zulieferbetrieben und großen Mistmengen hat sich in der Praxis der Transport mit LKW bewährt. Bei kontinuierlicher Entmistung, z. B. Pferde- und Rindermist, stellen (Hakenlift-) Container eine praktikable und günstige Lösung dar. Die leeren Container werden zum Tierhaltungsbetrieb gefahren und dort befüllt. Sobald der Container gefüllt ist, wird der Betreibende oder ein Lohnunternehmen kontaktiert, um diesen gegen einen leeren auszutauschen. Die Container lassen sich abdecken, um Wassereintrag und Geruchsemissionen zu minimieren. Ob die Logistik durch den Betreibenden selbst oder durch ein Lohnunternehmen erfolgt, ist individuell vom Arbeits- und Zeitaufwand abhängig.



Abb. 3: Hakenliftcontainer



Abb. 4: Hakenlift-Transportsystem

Weiterführende Literatur:

Substraternte und Gärresteausbringung, [Teil 1](#), [Teil 2](#), [Teil 3](#), Biogas Forum Bayern e.V.

[Bauern als Spediteure wider Willen](#), Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt

[Merkblatt: Biomasse-Ernte-Logistik – Begriff und Faustformel für den Praxiseinsatz](#), Biogas Forum Bayern e.V.

[Bereitung hochwertiger Silage – Grundlage für hohen Biogasertrag](#), Biogas Forum Bayern e.V.

Exkurs: Folgende Vorteile bietet der LKW gegenüber dem Traktor

- Zeiteinsparung bei Anlieferung (Geschwindigkeit LKW vs. Traktor)
- Geringerer Kraftstoffverbrauch beim LKW im Vergleich zu Traktor (43 % weniger Dieserverbrauch bei gleicher Nutzlast)
- LKW für Straßennutzung konzipiert

Lagerung

Nach der Anlieferung erfolgt die Lagerung von Festmist auf der Siloplatte an der Biogasanlage oder in einer entsprechenden Lagerhalle. Zu berücksichtigen sind dabei die gesetzlichen Auflagen (siehe Kapitel 4.1.3).



Abb. 5: Festmistlagerung Siloplatte



Abb. 6: Festmistlagerung Lagerhalle

Exkurs: Hallenlagerung von Festmist – ein Praxisbeispiel

Eine Biogasanlage im LaRA-Projekt verfügt über eine im Jahr 2019 errichtete Lagerhalle für Rinderfestmist, siehe nachfolgende Fotos. Diese musste aufgrund veterinärrechtlicher Auflagen errichtet werden, da unmittelbar an die Biogasanlage ein Schweinemastbetrieb angrenzt. Heute ist der Betreiber mit der Lösung sehr zufrieden. Durch den Einbau des Feststoffeintrags in die Lagerhalle wird garantiert, dass der Rindermist bis zum Eintrag in die Biogasanlage trocken, geruchsarm und sauber eingebracht wird.



Abb. 7: Lagerhalle für Festmist



Abb. 8: Feststoffeintrag

Stroh

Für die Nutzung von Getreide- und Maisstroh wird der Feldbestand vorab gedroschen. Übrig bleibt das Koppelprodukt für die Biogaserzeugung.

Ernte und Transport

Folgendes gilt es bei Ernte und Transport von Stroh zu beachten:

Getreidestroh

- Niedriger Feuchtegehalt (Brandgefahr bei Einlagerung)
- Kurzes Erntefenster und höhere Belastung durch Arbeitsspitzen

Bei der Getreideernte legt der Mähdrescher das Stroh auf Schwad. Im Anschluss wird das Stroh mit einer Ballenpresse geborgen und zu Rund- oder Quaderballen gepresst. Dabei kann mittels Vorbauhäcksler oder Schneidwerk die Faserlänge des Strohs zerkleinert werden, um eine bessere Verdichtung und

höhere Ballengewichte zu erreichen. Der Abtransport erfolgt durch Aufladen der Strohballen mit einem Teleskoplader auf Anhänger. Alternativ kann ein Ladewagen, ggf. mit Häcksler, das Getreidestroh bergen, um loses Stroh abzutransportieren.

Maisstroh

- Spezielle Erntetechnik erforderlich (Arbeits- und technischer Mehraufwand)
- Ständige Verfügbarkeit der Erntetechnik durch langes Erntefenster
- Ernteertrag und Störstoffanteil von Bodenbeschaffenheit abhängig
- Erschwerte Witterungsbedingungen durch späteren Erntezeitpunkt
- Bodennahes Ernteverfahren: höhere Abfuhraten und höhere Störstoffanteile
- Ansonsten: geringere Abfuhraten und höhere Ernteverluste



Für die Maisstrohernte gibt es in der Praxis ein- und mehrstufige Verfahren, die sich in den Verfahrensschritten Dreschen, Schwaden und Bergen unterscheiden, wie die nachfolgende Abbildung zeigt. Insbesondere die zweiphasigen Verfahren haben sich in der Praxis durchgesetzt.

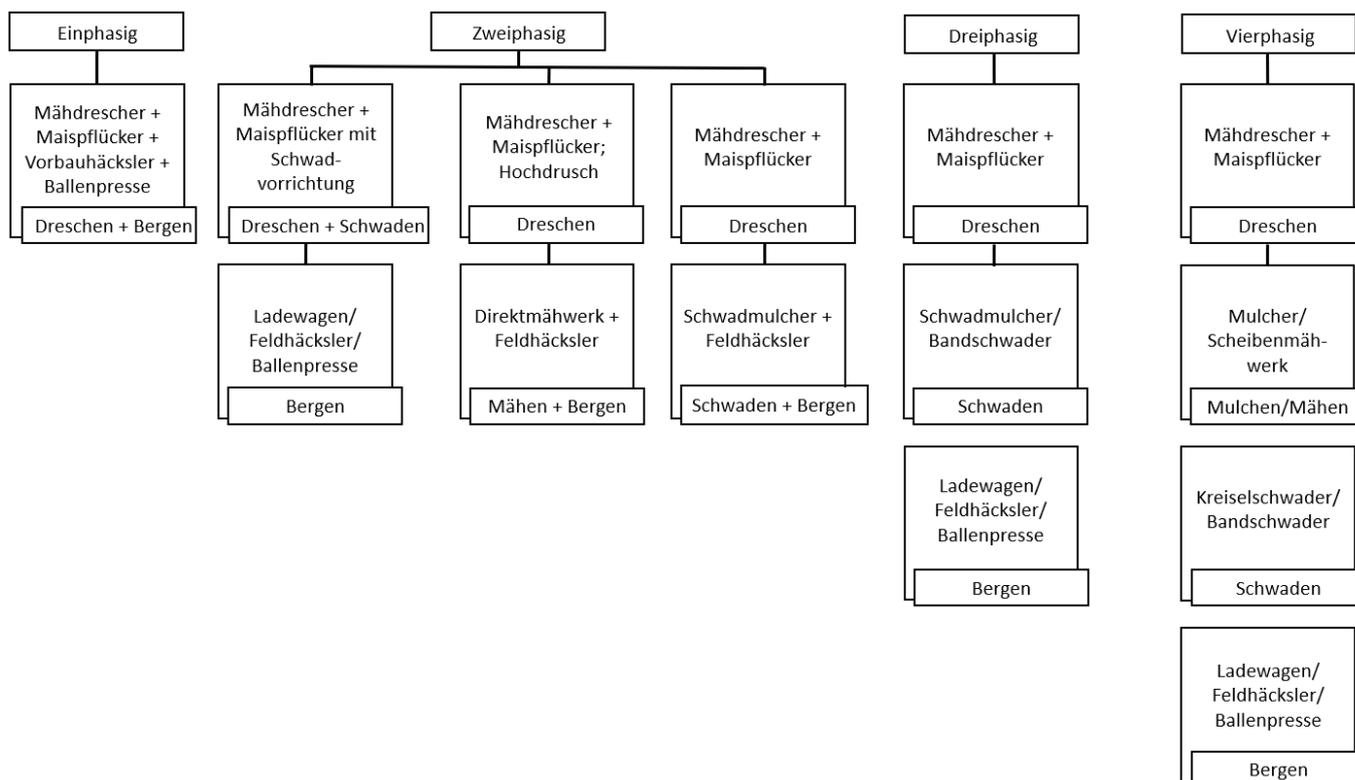
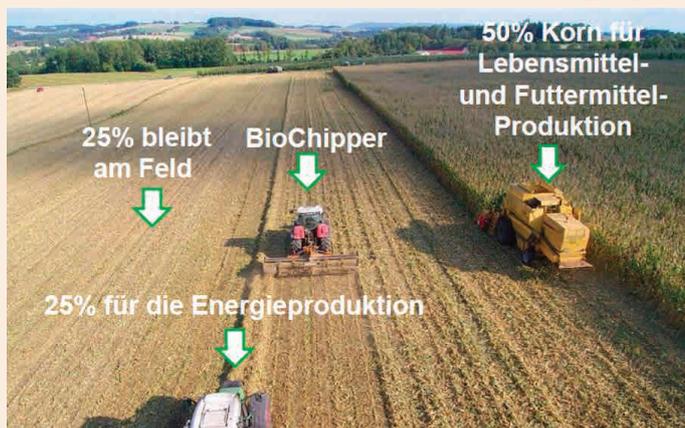


Abb. 9: Ernteverfahren zur Bergung von Körnermaisstroh, nach Thurner, Woortman, LfL

Exkurs: Substratlogistik von Körnermaisstroh – Praxisbericht

Ein hoher Substratanteil an Maisstroh von mehr als 20 Masse-% in der Biogasanlage war Motivation des Betreibers, ein spezielles Erntesystem für die Bergung von Körnermaisstroh zu entwickeln. Dabei setzt er auf ein zweiphasiges Ernteverfahren. Im ersten Schritt wird das Koppelprodukt aufgesaugt, gehäckselt und ohne Bodenkontakt auf Schwad gelegt.



Ein Zyklon sorgt dafür, dass Störstoffe wie Steine größtenteils abgeschieden werden. Der Abtransport des Maisstrohs erfolgt mit einem Ladewagen. Laut Betreiber kann das Maisstroh sehr gut mit Zwischenfrüchten und Zuckerrübenschnitzeln co-siliert werden. Aufgrund eines fast ausschließlichen Maisstroheinsatzes in der Biogasanlage wird heute auf eine Monosilage gesetzt.

Abb. 10: Aufteilung der Erträge bei der Maisstrohernte

Lagerung und Konservierung

Getreidestroh

Die Einlagerung von Strohballen erfolgt gestapelt in Hallen oder im Freien als offene Lagerung. Bei der offenen Lagerung schützt die Abdeckung mit Vlies vor Nässe und Qualitätsverlusten.

Maisstroh

Aufgrund des TS-Gehalts muss eine Konservierung erfolgen. Das Maisstroh wird vom Transportfahrzeug abgeladen und im Anschluss mittels Walzfahrzeug verdichtet. Eine Vorzerkleinerung erleichtert das Verdichten und verbessert somit die Silagequalität.

Weiterführende Literatur:

Lang oder gehäckselt pressen?, Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt

Strohlagerung: Vorschriften und Versicherung, Wochenblatt für Landwirtschaft und Landleben

Körnermaisstroh, Biogas Forum Bayern e.V.

Verwertung von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion, LfL; FKZ: N/14/07

Landschaftspflegegras

Ernte und Transport

Landschaftspflegegras wird von Natur- und Landschaftsschutzgebieten sowie KULAP-Flächen geerntet. Eine zeitlich gut abgestimmte Erntelogistik ist dabei für die Qualität entscheidend.

Was gilt es bei Ernte und Transport von Landschaftspflegegras zu beachten:

- Vorgabe der Erntezeiten und der Schnitzzahlen pro Jahr (insbesondere für Erhalt des Lapf-Bonus)
- Arbeits- und Maschinenmehraufwand für Ernte und Logistik durch kleine Flächen mit begrenzter Befahrbarkeit durch Erntemaschinen, u. a. Hanglage
- Schwankende Qualität insbesondere im TS-Gehalt und bei der Gasausbeute
- Unterschiedliche Halm- bzw. Faserlängen
- Anpassung der Schnitthöhe an Bodenbeschaffenheit (Hochschnitt bei verunreinigten Böden)

Die Ernte entspricht in ihrem Ablauf der üblichen Grasernte. Im ersten Schritt wird das Koppelprodukt gemäht, angewelkt und anschließend auf Schwad gelegt. Ist das Befahren der Erntefläche mit größeren Maschinen möglich, so empfiehlt es sich, das Material im Anschluss mit einem Häcksler zu zerkleinern. Auch der klassische Kurzschnittladewagen wird gern von Landwirten genutzt. Mit einem integrierten Schneidwerk kann auch hier das Lapf zerkleinert werden.

Auf kleinen und schwer zugänglichen Landschaftspflegeflächen, z. B. mit Hanglage, ist das Häckseln keine Option. Insbesondere sehr feuchte Böden mit schlechter Befahrbarkeit können teilweise nur gemäht werden. Eine Zerkleinerung des Ernteguts ist nur im Nachgang möglich. Loses Erntegut wird im Ladewagen zum Lagerort abtransportiert. Wird das Lapf gepresst, so folgt der Abtransport auf Anhängern.



Lagerung und Konservierung

Die Lagerung erfolgt vorzugsweise in einem Fahrsilo. Das Substrat wird vom Transportfahrzeug abgeladen, gleichmäßig auf der Silofläche verteilt und im Anschluss verdichtet. In der Praxis zeigte sich, dass insbesondere die Vorzerkleinerung vor der Lagerung das Verdichten deutlich verbesserte. Um Silierverluste gering zu halten, ist anschließend eine luftdichte Abdeckung notwendig.

Gepresste Silageballen lassen sich auf dem Feld oder in Hallen lagern. Vor der Einbringung muss die Ballenfolie gelöst und das Substrat aufgelockert werden. Nicht siliertes, frisches Landschaftspflegegras sollte möglichst direkt eingebracht werden, da sonst erhebliche Qualitätsverluste auftreten.

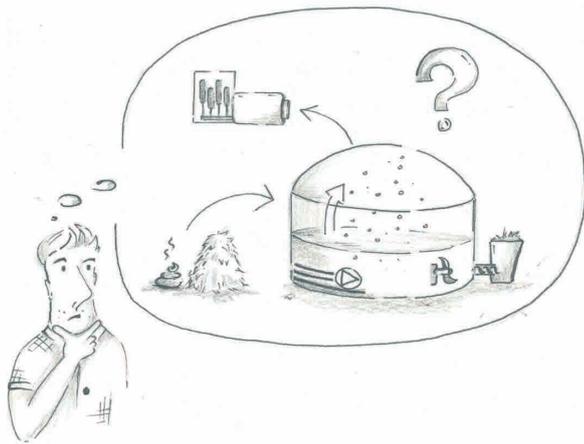
Weiterführende Literatur

Vom Landschaftspflegematerial zum Biogas – ein Beratungsordner, Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e.V.

Biogas aus Landschaftspflegegras: Möglichkeiten und Grenzen, Karlsruher Institut für Technologie



4.2 Prozess- und Anlagentechnik



Wurden die potenziellen Koppelprodukte für den Einsatz in der Biogasanlage ausgewählt, die verfügbaren Mengen identifiziert (siehe Kapitel 4.1.1) und die Logistik der Substratbeschaffung organisiert (siehe Kapitel 4.1.4), ist im nächsten Schritt der Einsatz in der Biogasanlage zu planen. In vielen BGA ist ein geringer Einsatz von Koppelprodukten auch ohne (prozess-) technische Änderungen umsetzbar. Eine weitere Steigerung ohne entsprechende Anpassungen führt in der Regel zu Störungen bis hin zum gänzlichen Erliegen des Gärprozesses. Wie lassen sich nun größere Einsatzmengen an Koppelprodukten in Biogasanlagen einsetzen? Worauf ist im Anlagenbetrieb zu achten und wie kann der Arbeitsaufwand für den Anlagenbetreibenden in einem überschaubaren Rahmen bleiben? Diesen Themen widmet sich das aktuelle Kapitel.

4.2.1 Koppelprodukte – ihre Eigenschaften und Besonderheiten

Grundsätzlich enthalten Koppelprodukte weniger Kohlenhydrate, sind dafür aber faserhaltiger als herkömmliche Energiepflanzen. Mit „faserhaltig“ werden hierbei erhöhte Gehalte an Rohfasern in den Substraten beschrieben. Dies wiederum führt zu einer geringeren Substratumsetzung und niedrigeren Biogas- bzw. Methanausbeuten.

Im LaRA-Projekt wurden die ausgewählten Koppelprodukte unter verschiedenen Aspekten untersucht. Daraus lassen sich folgende Erkenntnisse und Hinweise für den Betrieb ableiten:

Festmisteinsatz



Abb. 11: Partikel von Festmist

- Die Strohmenge variiert je nach Tierart und Haltungform (Strohanteil bei Pferdemit und Mutterkuhställen tendenziell höher).
- Die Dunganteile können zu Klumpenbildung im Gärbehälter führen.
- Geflügel- und insbesondere Hühnermist, aber auch Pferdemit beinhalten höhere Sedimentanteile.
- In Tretmistställen wird das Substrat bereits durch die Klauen der Wiederkäuer vorbehandelt und aufgeschlossen.
- Die TS-Gehalte von Rinder- und Pferdemit liegen im Mittel zwischen 25-30 % und die vom Hühner- und Geflügelmist zwischen 45-50 %.
- In Festmist variieren Asche- und Ligningehalte stark. Der Ligningehalt liegt über dem vom Getreide- und Maisstroh.
- Grundsätzlich sind längere Lagerzeiten vor der Einbringung in die Biogasanlage möglichst zu vermeiden, um den Verlust von organischer Trockensubstanz (oTS-Abbau) zu begrenzen.
- Bei höheren Anteilen an Geflügelmist, insbesondere Hühnermist, besteht die Gefahr der Ammoniakhemmung des Prozesses.
- Die C:N-Verhältnisse liegen meist in dem günstigen Bereich zwischen 20-30. Bei Hühnermist kann ein niedriges Verhältnis vorliegen, das eine vermehrte Ammoniumbildung fördert. Werden höhere Prozesstemperaturen gefahren, kann dies zu einer Ammoniakhemmung führen.

Exkurs: Tretmist, ein Konzept aus der Praxis

In einer Anlage im LaRA-Projekt wird Tretmist eingesetzt. Dieser stammt aus einem Stall mit Trockenstehern. Das Stroh wird in Ballen in den Stall gebracht. Die Kühe zerpfücken die Strohballen, verteilen das Stroh eigenständig und behandeln dabei das Stroh mit ihren Klauen. Die Klauentritte sorgen für eine natürliche „mechanische“ Vorbehandlung des Strohs. Der Zeitpunkt des Ausmistens reguliert den Grad der Vorbehandlung, berichtet der Betreiber.



Stroheinsatz



Abb. 12: Partikel von Getreidestroh

- Lange Partikel im Substrat können Verstopfungen oder ein Umwickeln der Anlagentechnik verursachen.
- Knäuelige Substratstruktur bei unbehandeltem Getreidestroh kann zu Klumpenbildung führen.
- Aufgrund der leichten Substratanteile besteht die Gefahr von Schwimmschichtenbildung.
- Durch die geringe Schüttdichte erhöht sich das Lagervolumen.
- Es sind kaum Sandanteile in den untersuchten Proben enthalten, wodurch keine Gefahr von Sedimentation besteht.
- Die TS-Gehalte von Getreidestroh liegen im Mittel zwischen 80-90 % und von Maisstroh zwischen 35-50 %.
- Verglichen mit Maissilage weisen Getreide- und Maisstroh wesentlich höhere Anteile an schwer vergärbaren Cellulosen und Hemicellulosen auf. Diese lassen sich aber bei einer längeren Verweilzeit gut umsetzen.
- Die Proben zeigten mittlere C:N-Verhältnisse für Getreidestroh von 87 und für Maisstroh von 52. Um das optimale C:N-Verhältnis von 20-30 zu erreichen, sollte Stroh mit stickstoffreicheren Mischungspartnern kombiniert werden.



Einsatz von Landschaftspflegegras

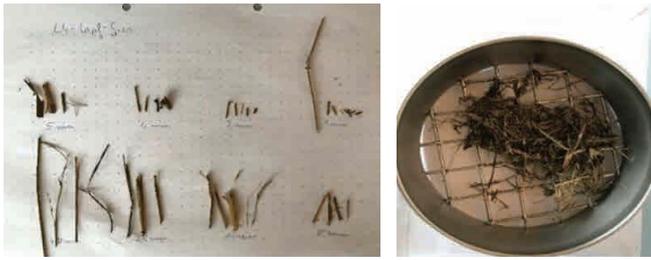


Abb. 13: Partikel von Landschaftspflegegras

- Landschaftspflegegras hat in der Regel geringe Störstoffanteile, außer das Substrat stammt von stark erdbelasteten Flächen, z. B. durch Maulwurfshäufen.
- Gekräuselte Substratstruktur kann zu Klumpenbildung, die aufgelockert werden muss, führen.

- Lapf neigt zu Entmischung (leichte Partikel steigen bei gleichzeitiger Sedimentation von schweren Partikeln auf).
- Erhöhte Lignocellulosegehalte sind insbesondere bei späten Schnitzeitpunkten vorhanden.
- Das C:N-Verhältnis liegt in einem optimalen Bereich zwischen 20-30.
- Landschaftspflegegras weist einen TS-Gehalt von 25-40 % auf.

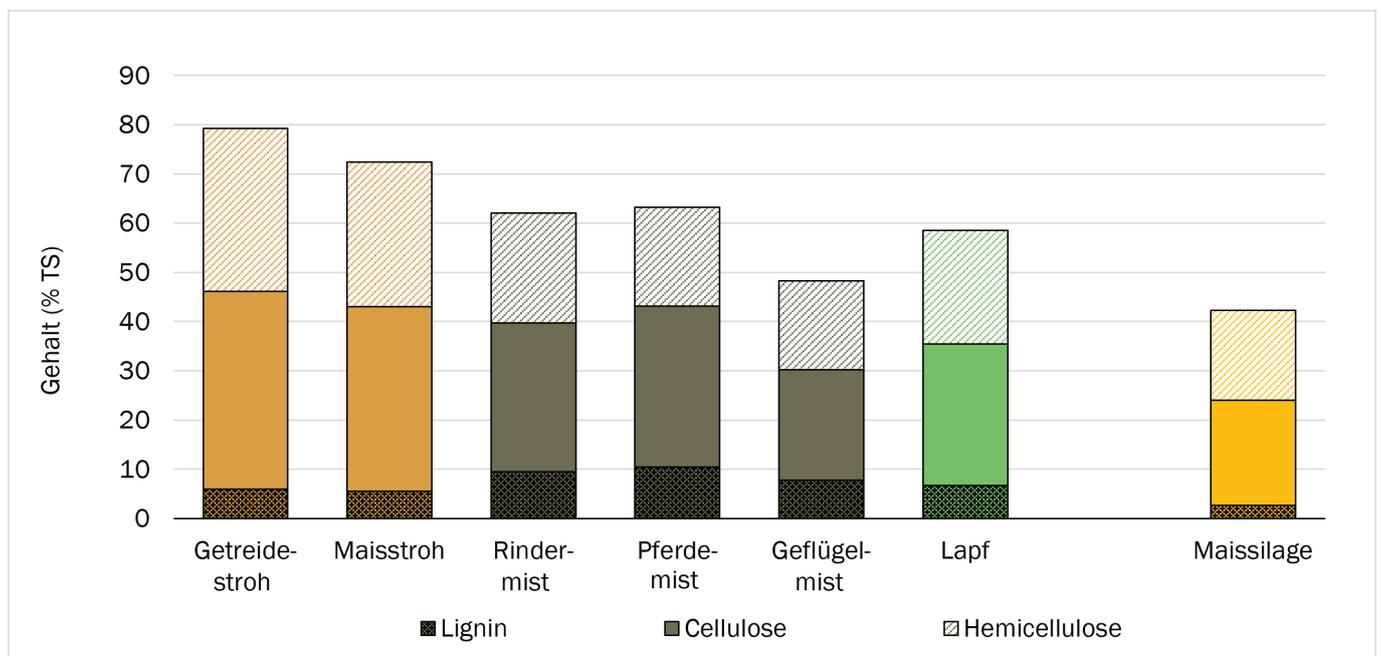


Abb. 14: Lignocellulosegehalte in Koppelprodukten und Maissilage

Änderung der Fließeigenschaften im Fermenter

Im Anlagenbetrieb wird bei einem Einsatz von hohen Mengen an Koppelprodukten von zunehmenden Strombedarfsmengen und über eine steigende Beanspruchung der Rührtechnik berichtet. Auch der Wärmebedarf bzw. die Zuheizung des Gärbehälters erhöht sich in vielen Biogasanlagen. Dies liegt an den verschlechterten Fließeigenschaften der Koppelprodukte.

Erkenntnisse

- Hohe Einsatzstoffmengen faserhaltiger Koppelprodukte beeinträchtigen die Fließfähigkeit.
- Je höher der TS-Gehalt, desto geringer ist die Fließfähigkeit.
- Eine schlechte Fließfähigkeit erhöht den Strombedarf der Rührtechnik und führt zu einer verschlechterten Wärmeverteilung.
- Die Fließfähigkeit lässt sich durch unterschiedliche Maßnahmen verbessern:
 - Faserlänge der Einsatzstoffe reduzieren, z. B. durch mechanischen Voraufschluss
 - Gärtemperatur erhöhen
 - Abbaugeschwindigkeit/Substratumsetzung steigern, z. B. durch Enzymzugabe



Abb. 15: Schwimmschicht im Fermenter

Erhöhung der Raumlast, Verkürzung der Verweilzeit

Bei einer Änderung der Einsatzstoffe wird oft das Ziel sein, eine vergleichbare Methanmenge zu produzieren. Über die Gehalte an TS, oTS und den spezifischen Methanertrag der Einsatzstoffe lässt sich näherungsweise abschätzen, welche Massen des Koppelproduktes notwendig sind, um bei gleichbleibender Methanproduktion eine bestimmte Menge an Energiepflanzen zu ersetzen. Das Austauschverhältnis A gibt an, wie viel Masse des Koppelproduktes notwendig ist, um eine Tonne Energiepflanzen zu ersetzen:

$$A = \frac{Y_{\text{CH}_4_{\text{EP}}} \cdot \text{TS}_{\text{EP}} \cdot \text{oTS}_{\text{EP}}}{Y_{\text{CH}_4_{\text{KP}}} \cdot \text{TS}_{\text{KP}} \cdot \text{oTS}_{\text{KP}}}$$

A: Austauschverhältnis

$Y_{\text{CH}_4_{\text{EP}}}$: spezifischer Methanertrag Energiepflanze [$\text{m}_N^3 \text{CH}_4/\text{t}_{\text{oTS}}$]

TS_{EP} : Trockensubstanzgehalt Energiepflanze [%]

oTS_{EP} : organischer Trockensubstanzgehalt Energiepflanze [% TS]

$Y_{\text{CH}_4_{\text{KP}}}$: spezifischer Methanertrag Koppelprodukt [$\text{m}_N^3 \text{CH}_4/\text{t}_{\text{oTS}}$]

TS_{KP} : Trockensubstanzgehalt Koppelprodukt [%]

oTS_{KP} : organischer Trockensubstanzgehalt Koppelprodukt [% TS]

Aus der Masse des zu ersetzenden Substrats und dem Austauschverhältnis ergibt sich die notwendige Masse des Koppelproduktes:

$$m_{\text{KP}} = m_{\text{EP}} \cdot A$$

m_{KP} : notwendige Masse Koppelprodukt [t]

m_{EP} : Masse Energiepflanze [t]

Abbildung 16 zeigt die Austauschverhältnisse der hier betrachteten Koppelprodukte im Vergleich zu Maissilage. Diese Werte ergeben sich aus den Untersuchungen der Projektanlagen und sind nicht direkt übertragbar. Es empfiehlt sich, die Einsatzstoffe individuell untersuchen zu lassen, um eine genauere Aussage für den eigenen Betrieb ableiten zu können.

Wie in dieser Abbildung ersichtlich, muss in den meisten Fällen die Substratzufuhr erhöht werden, um eine gleichbleibende Methanproduktion zu gewährleisten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich mit Änderung der Substratzufuhr auch die organische Raumbelastung

und die hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem ändern. Bei erhöhter Substratzufuhr reduziert sich die Verweilzeit, während die organische Raumbelastung häufig steigt. Dabei kann eine deutliche Steigerung der organischen Raumbelastung über 3-5 kg oTS/(m³_{AV}·d) (abhängig von dem Gülleanteil in der Substratmischung) eine Prozesshemmung bewirken, während die Verringerung der hydraulischen Verweilzeit die Substratumsetzung in der Anlage begrenzt und damit den spezifischen Methanertrag des Substrates reduziert.

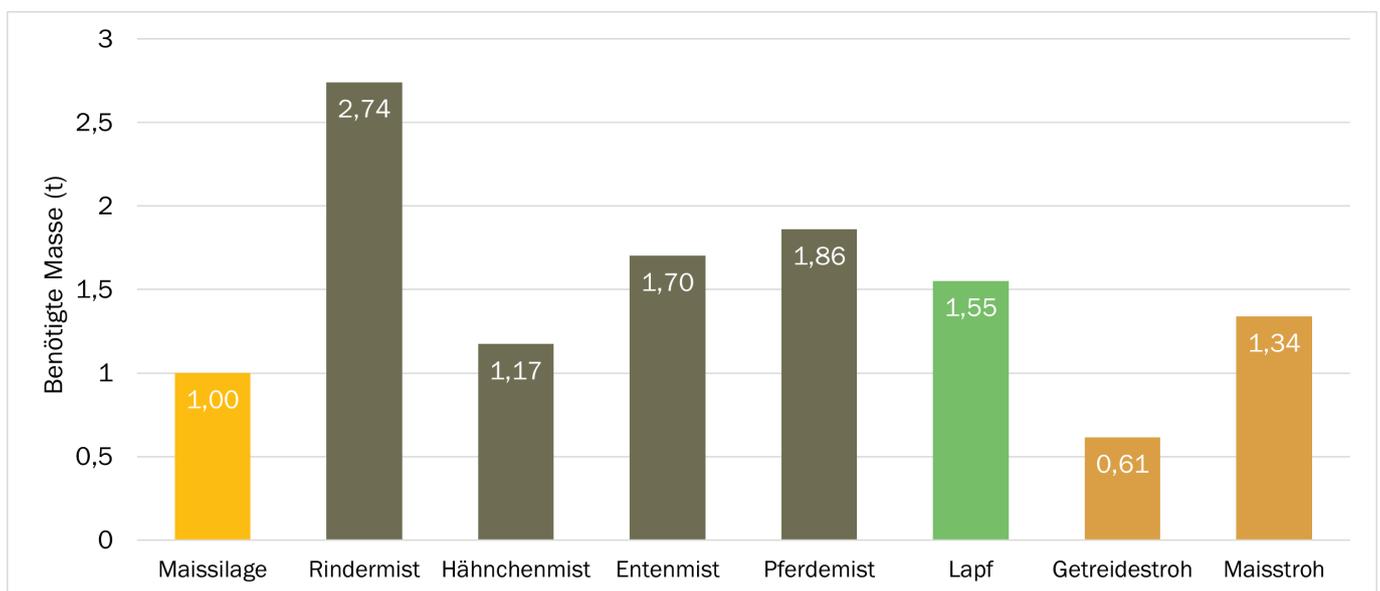


Abb. 16: Benötigte Menge an Koppelprodukt, um die Methanproduktion aus 1 t Mais zu ersetzen



Beispielberechnung:

Einer Biogasanlage mit einem Arbeitsvolumen V_{AV} von 4.200 m³ des beheizten Fermentersystems werden pro Tag

$\dot{m}_{RG} = 40$ t/d Rindergülle ($TS_{RG} = 7,4$ %, $oTS_{RG} = 82$ %_{TS}),

$\dot{m}_{MS} = 15$ t/d Maissilage ($TS_{MS} = 35,5$ %, $oTS_{MS} = 96$ %_{TS}) und

$\dot{m}_{GS} = 2,5$ t/d Grassilage ($TS_{GS} = 32,0$ %, $oTS_{GS} = 90$ %_{TS}) zugeführt.

Die organische Raumbelastung B_R beträgt

$$B_R = \frac{\sum(\dot{m} \cdot TS \cdot oTS)}{(V_{AV} \cdot 10)} = \frac{(\dot{m}_{RG} \cdot TS_{RG} \cdot oTS_{RG} + \dot{m}_{MS} \cdot TS_{MS} \cdot oTS_{MS} + \dot{m}_{GS} \cdot TS_{GS} \cdot oTS_{GS})}{(V_{AV} \cdot 10)} =$$
$$\frac{(40 \cdot 7,4 \cdot 82 + 15 \cdot 35,5 \cdot 96 + 2,5 \cdot 32,0 \cdot 90)}{(4.200 \cdot 10)} = 1,97 \frac{\text{kg}_{oTS}}{(\text{m}^3 \cdot \text{d})}$$

Die hydraulische Verweilzeit HRT der Substratmischung* im beheizten Fermentersystem

beträgt $HRT = \frac{V_{AV}}{\dot{V}} = \frac{4.200}{(40+15+2,5)} = 73$ d . (*vereinfachte Annahme: Dichte der Substratmischung 1 t/m³)

80 % der Maissilage (=12 t/d) sollen durch Rinderfestmist ($TS_{RM} = 26,0$ %, $oTS_{RM} = 84$ %_{TS}) ersetzt werden.

Das Austauschverhältnis A beträgt $A = \frac{Y_{CH_4, MS} \cdot TS_{MS} \cdot oTS_{MS}}{Y_{CH_4, RM} \cdot TS_{RM} \cdot oTS_{RM}} = \frac{(355 \cdot 35,5 \cdot 96)}{(258 \cdot 26,0 \cdot 84)} = 2,15 \frac{\text{t}}{\text{t}}$.

Um eine vergleichbare Methanproduktion in der Biogasanlage zu erhalten, wird eine Zufuhr von

$\dot{m}_{RM} = \dot{m}_{MS} \cdot A = 12 \cdot 2,15 = 25,8$ t Rinderfestmist pro Tag benötigt.

Durch die geänderte Substratzufuhr steigt die organische Raumbelastung auf $B_R =$

$$\frac{(40 \cdot 7,4 \cdot 82 + 3 \cdot 35,5 \cdot 96 + 2,5 \cdot 32,0 \cdot 90 + 25,8 \cdot 26,0 \cdot 84)}{(4.200 \cdot 10)} = 2,33 \frac{\text{kg}_{oTS}}{(\text{m}^3 \cdot \text{d})}$$

Durch die geänderte Substratzufuhr sinkt die hydraulische Verweilzeit im beheizten

Fermentersystem der Anlage auf $HRT = \frac{4.200}{(40+3+2,5+25,8)} = 59$ d .

Erkenntnisse

- Um Energiepflanzen in der Substratmischung durch Koppelprodukte zu ersetzen, ist für eine gleichbleibende Methanproduktion häufig eine Erhöhung der Substratzufuhr notwendig.
- Es ist zu prüfen, inwiefern die Änderung der Substratzufuhr die organische Raumbelastung erhöht. Eine deutliche Steigerung der Raumlast sollte schrittweise und unter Überwachung der Prozessstabilität erfolgen.
- Eine erhöhte Substratzufuhr verringert die hydraulische Verweilzeit im Fermentersystem. Die Einhaltung von Mindestverweilzeiten im geschlossenen System ist zu prüfen. Eine kürzere Verweilzeit reduziert den Substratabbau und den spezifischen Methanertrag der Einsatzstoffe in der Biogasanlage, insbesondere bei langsam umsetzbaren, faserreichen Einsatzstoffen. Es wird eine Verweilzeit des Substrates von wenigstens 80 Tagen im beheizten Fermentersystem empfohlen.



4.2.2 Mythen zum Koppelprodukteinsatz

Um den Einsatz von Koppelprodukten ranken sich in der Praxis zahlreiche Mythen über die Folgen für den Anlagenbetrieb. Mit Hilfe der gesammelten wissenschaftlichen Forschungserkenntnisse und den Erfahrungsberichten aus der Praxis wird eine Auswahl der wichtigsten Mythen nun bewertet.

Mythos 1: Die Effizienz des Substratabbaus im Gärbehälter reduziert sich aufgrund des Faseranteils

Für den direkten Vergleich von Koppelprodukten und Energiepflanzen trifft dies grundsätzlich zu. Die Koppelprodukte besitzen in der Regel höhere Gehalte an Faserbestandteilen, also Lignin, Cellulose und Hemicellulose, als Energiepflanzen (siehe Abbildung 14). Insbesondere das Lignin ist im anaeroben Gärprozess kaum abbaubar und verringert damit direkt den Anteil organischer Trockensubstanz, der in der Biogasanlage umgesetzt werden kann. Zudem geht das Lignin feste Bindungen mit anderen Zellwandbestandteilen ein und reduziert damit die Abbaubarkeit von sonst im Gärprozess verwertbaren Inhaltsstoffen. Cellulose und Hemicellulose sind nur langsam im Gärprozess umsetzbar. Bei begrenzten Verweilzeiten des Substrates im Fermenter kann dies ebenfalls zu einem unzureichenden Substratabbau führen. Bei reduziertem Substratabbau sinkt auch der spezifische Gasertrag aus der organischen Trockensubstanz des Einsatzstoffes.

Die Substratumsetzung in der Biogasanlage ist jedoch nicht nur von der Zusammensetzung der Einsatzstoffe, sondern von weiteren Prozessparametern abhängig und kann durch geeignete Prozessbedingungen verbessert werden. Die Untersuchungen im Projekt haben gezeigt, dass der überwiegende Anteil der Hemicellulose und Cellulose auch bei Einsatz von Koppelprodukten abbaubar ist und dass bei geeigneten Prozessbedingungen ein hoher Abbau dieser Faserbestandteile von 72 bis 90 % erreicht werden kann.

Voraussetzungen für einen effektiven Substratabbau bzw. Bedingungen, die den Abbau verbessern:

- Ausreichend lange Verweilzeit der Substrate im beheizten Fermentersystem
- Stabiler Prozessverlauf
- Gleichmäßige Beheizung der Fermenter, effektive Durchmischung und Vermeidung von Kurzschlussströmungen
- Bessere Verfügbarkeit der Inhaltsstoffe durch Vor-aufschluss des Substrates
- Höhere Prozesstemperatur im oberen mesophilen oder im thermophilen Bereich

Mythos 2: Die Rührfähigkeit verschlechtert sich durch die Fütterung von Koppelprodukten

Die klare Antwort lautet hier ... JA!

Die im Projekt befragten Biogasanlagenbetreibenden haben berichtet, dass die für NawaRo/Gülle-Anlagen installierte Rührtechnik (z. B. Rühranordnung von Schnellläufern, wie Tauchmotorrührwerken) schnell an ihre technische Belastungsgrenze gelangt und bei ungeeigneter Rührstrategie einerseits der Strombedarf ansteigt oder gar die gewünschten Rühreffekte nicht erzielt werden.



Wie Abbildung 17 beispielhaft zeigt, macht die Rührtechnik den mit Abstand größten Posten beim Stromverbrauch aus. Hier lohnt es sich, die eigene Technik unter die Lupe zu nehmen und ggf. zu optimieren.

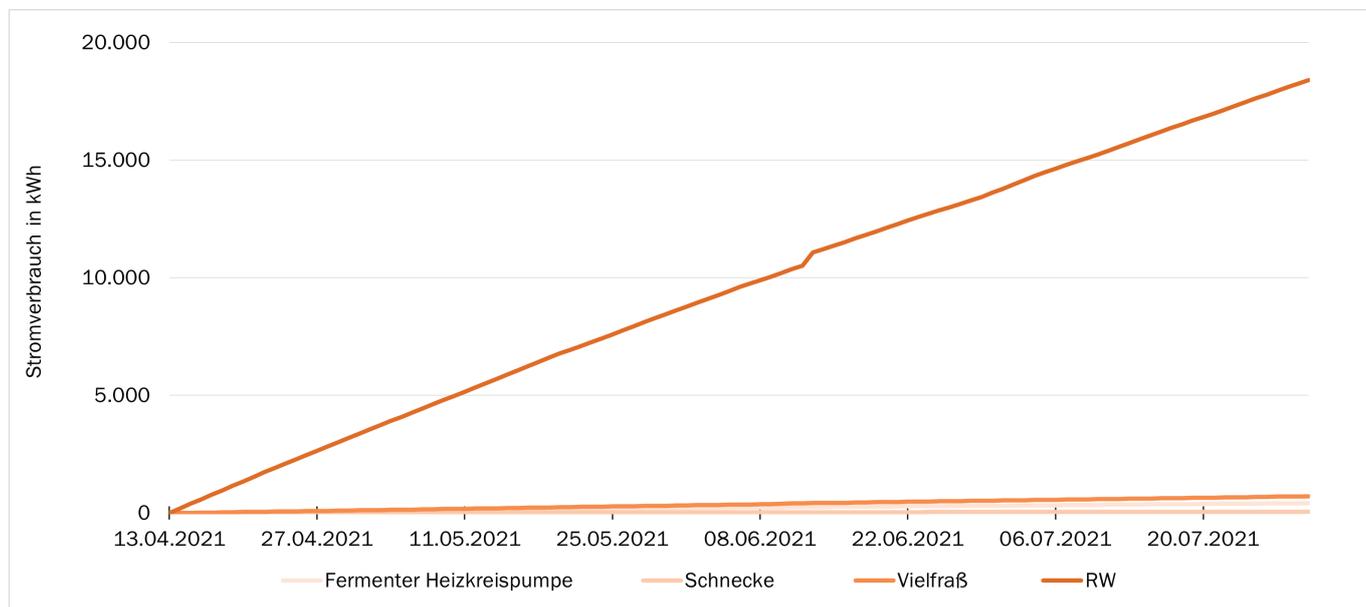


Abb. 17: Kumulierter Strombedarf der Fermenterhauptverbraucher einer Praxisanlage

Wie dies aussehen kann, zeigt eine Praxisanlage aus dem Projekt. Diese hat während des Messzeitraums ein belastetes Schnellläufer-Rührwerk durch ein

Paddelrührwerk (Langsamläufer) ersetzt und konnte so den Stromverbrauch signifikant absenken, wie Abbildung 18 zeigt.

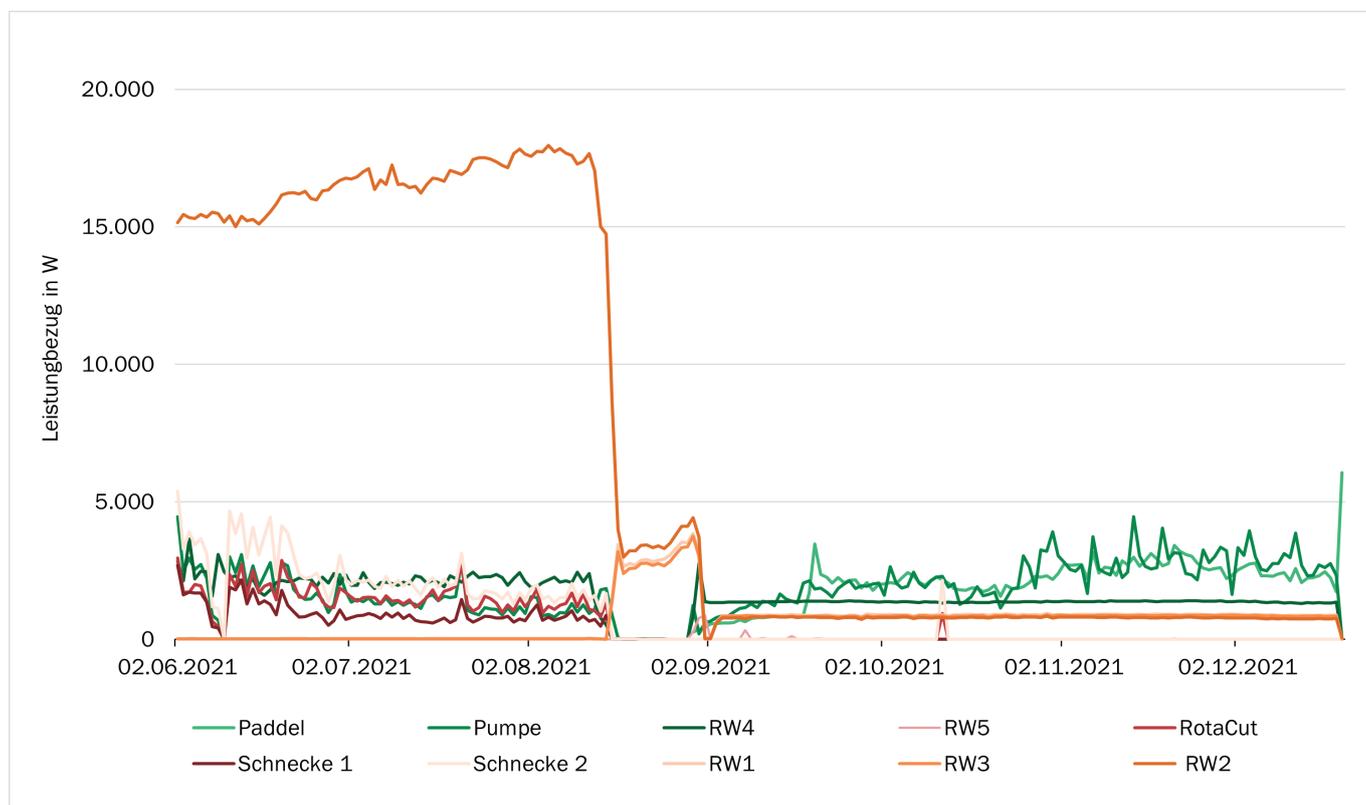


Abb. 18: Täglicher Leistungsbezug der Fermenterhauptverbraucher (Praxisanlage)

Exkurs: Alternative Fermenterkonzepte

Neben dem klassischen Rührkesselfermenter gibt es weitere Fermenterkonzepte, die sich u. a. auch in Bezug auf die Durchmischung unterscheiden. Auch bei solchen Konzepten muss bei einem erhöhten Einsatz von Koppelprodukten die (Prozess-) Technik analysiert und ggf. angepasst werden.

Mythos 3: Die Biogasanlagentechnik stößt bei vermehrtem Einsatz von Koppelprodukten schnell an ihre Grenzen

Ob dieser Mythos zutrifft, hängt von der verbauten Anlagentechnik ab. Allgemein lässt sich sagen: Je robuster die bestehende Technik ist, desto weniger technische Probleme treten bei der Fütterung und Förderung von faserhaltigen Einsatzstoffen auf.

Aus den Untersuchungen der Praxisanlagen ergaben sich folgende Erkenntnisse:

Fütterung

- Lange und steile Einbringwege bei geringen Schneckendurchmessern neigen bei der Feststofffütterung zu Verstopfungen (s. Abb. 19)
- Die Einbringdauer erhöht sich bei leichten Einsatzstoffen wie Stroh.
- Es sind Feststoffdosierer zu bevorzugen, die das Koppelprodukt aufgelockert in den Fermenter bringen.



Abb. 19: Feststoffeintrag einer LaRA-Biogasanlage

Hydraulik

- Überlaufsysteme führen bei faserhaltigen Einsatzstoffen und zähflüssigen Gärmedien von geringerer Dichte vermehrt zu Verstopfungen.
- Bei Substratpumpen für geringe TS-Gehalte (Drehkolbenpumpen) sowie Pumpsystemen mit engen Rohrführungen, 90° Winkeln und geringen Durchmessern (s. Abb. 20) erhöht sich die Störanfälligkeit (Verstopfungen) und der Pumpaufwand.

Beheizung

- Die Gefahr für ein Umwickeln der Heizschlangen im Gärbehälter ist erhöht. Zusätzlich ist ein Anbacken der faserhaltigen Materialien an den Rohrsträngen möglich, was die Heizleistung einschränkt.
- Durch den höheren Frischmasseeintrag steigt auch der Wärmebedarf des Fermenters.



Abb. 20: Substratverteilerpumpe einer LaRA-Biogasanlage

Mythos 4: Eine Temperaturerhöhung wirkt sich bei hohem Anteil von Koppelprodukten positiv auf den Gärprozess und die Substrateigenschaften im Gärbehälter aus

Die Antwort lautet ... JA – sofern keine hohen Ammonium-Konzentrationen in der Biogasanlage vorliegen.

Auswirkungen auf die Substrateigenschaften

Die positive Wirkung einer höheren Gärtemperatur zeigt sich in einer verbesserten Fließfähigkeit des Gärsubstrates. Dieser Effekt lässt sich im Anlagenbetrieb am Stromverbrauch der Rührtechnik ablesen (siehe Abbildung 21).

Auswirkungen auf den Gärprozess

Höhere Temperaturen bewirken allgemein einen schnelleren Ablauf biochemischer Reaktionen und damit eine Erhöhung der Geschwindigkeit der Umsetzungsprozesse in der Biogasanlage. Dies kann einen verbesserten Substratabbau zur Folge haben und sich positiv auf die Biogasbildung auswirken, wobei jedoch eine langfristige Erhöhung der Biogasbildung durch Temperaturerhöhung im Projekt nicht nachgewiesen werden konnte. Vorsicht ist bei hohen Stickstoffkonzentrationen in der Substratmischung (niedriges C:N-Verhältnis, z. B. bei Einsatz von Geflügelmist) bzw. bei hohen Ammonium-Konzentrationen in der Biogasanlage geboten: mit steigender Gärtemperatur liegt ein größerer Anteil des

Ammonium-Stickstoffs als stark hemmender freier Ammoniak in der Biogasanlage vor. Dadurch besteht ein erhöhtes Risiko für Prozessinstabilitäten. Von einer Temperaturerhöhung ist daher bei hohen Ammonium-Konzentrationen im Fermenter abzuraten.

Was gilt es bei einer Temperaturerhöhung zu beachten?

- Die Erhöhung der Gärtemperatur sollte langsam und gleichmäßig erfolgen. Während der Phase der Temperatursteigerung sollte die Prozessstabilität intensiv überwacht werden.
- Sprunghafte Temperaturerhöhungen müssen nicht zwangsläufig zu Prozesshemmungen führen, stellen jedoch eine besondere Stressbelastung für die Mikroorganismen dar. Die Mikroorganismenpopulation ist an die bestehende Gärtemperatur adaptiert, weshalb bei Temperaturänderungen ausreichend Zeit zur Anpassung an die geänderte Gärtemperatur notwendig ist. Dies gilt insbesondere für den Übergang von mesophiler zu thermophiler Gärtemperatur.
- Eine ausreichend dimensionierte Heiztechnik muss vorhanden sein.
- Unkontrollierte Temperaturschwankungen nach unten sind unbedingt zu vermeiden.

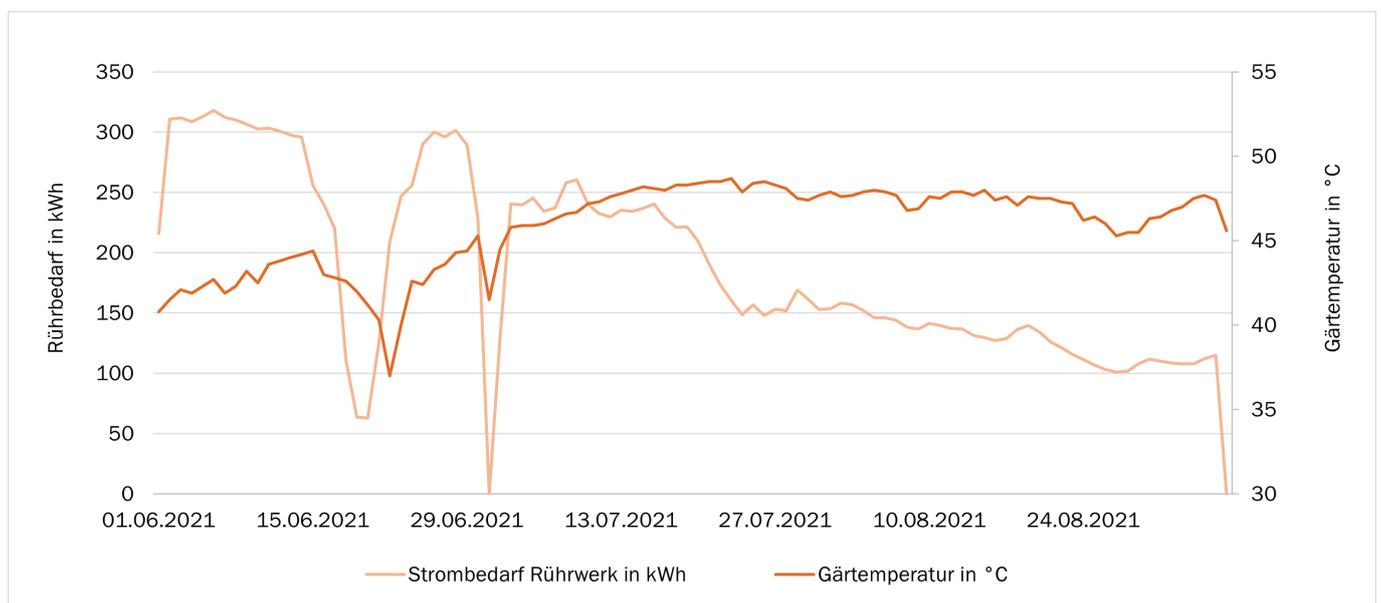


Abb. 21: Rühraufwand im Vergleich zur Gärtemperatur (Praxisanlage)

Mythos 5: Der Schwefelanteil im Biogas erhöht sich durch den vermehrten Koppelprodukteinsatz

Dieser Mythos trifft für die meisten Koppelprodukte zu.

Die Menge an Schwefelwasserstoff, die während des Gärprozesses freigesetzt wird, ist vorrangig substratabhängig. Mit steigenden Schwefelgehalten im Substrat steigt auch der Schwefelwasserstoffgehalt im Biogas. Abbildung 23 zeigt die im Projekt gemessenen mittleren Schwefelgehalte in der Frischmasse von Koppelprodukten, Rindergülle und Energiepflanzen im Vergleich. Dabei liegen die Schwefelgehalte der Koppelprodukte überwiegend höher als die der Energiepflanzen. Hohe Anteile sind insbesondere in Hähnchen- und Geflügelmist, aber auch in Getreidestroh und Rindermist vorhanden.

Bei vermehrtem Einsatz von Koppelprodukten ist daher zumeist mit einem Anstieg des Schwefelgehaltes im Biogas zu rechnen. Vorhandene Maßnahmen zur Entschwefelung sind hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu prüfen und ggf. an die geänderten Schwefelwas-

serstoffkonzentrationen anzupassen. In den nachfolgenden Empfehlungen (Schwachstellenanalyse - Schwefelwasserstoff) sind Hinweise für den richtigen Umgang in der Praxis mit erhöhten Schwefelkonzentrationen zu finden.

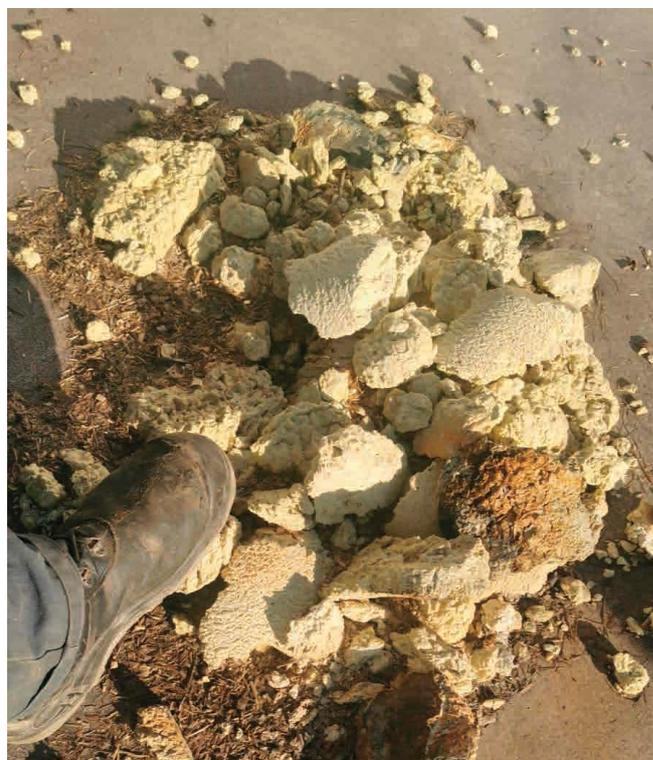


Abb. 22: Schwefel aus einer Biogasanlage

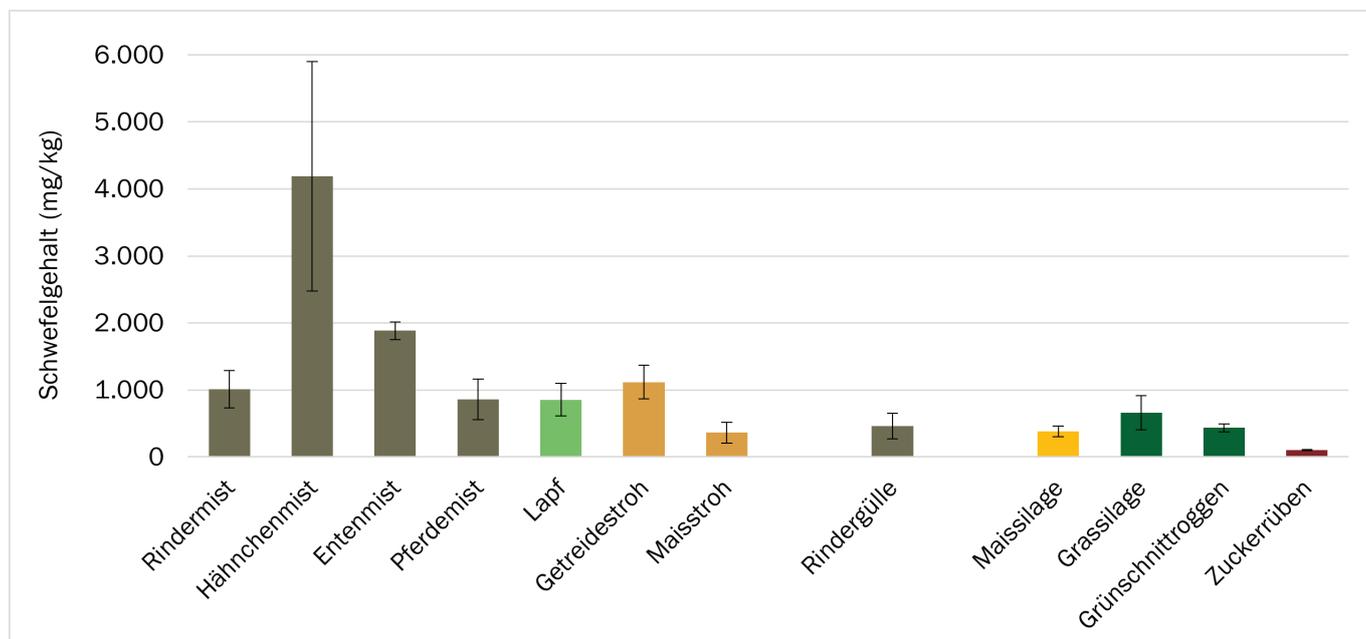


Abb. 23: Mittlere Schwefelgehalte in der Frischmasse von Koppelprodukten und Energiepflanzen

4.2.3 Steigerung des Koppelprodukteinsatzes in der Biogasanlage

Das Ziel hier ist es, einen langfristigen Einsatz von mehr als 20 Masseprozent der Frischmasse an Koppelprodukten in der Biogasanlage zu planen. Mithilfe einer schrittweisen Anleitung werden geeignete prozess- und anlagentechnische Maßnahmen vorgestellt, um für die eigene Biogasanlage einen reibungslosen Anlagenbetrieb mit hohem Anteil an Koppelprodukten zu ermöglichen.

Die richtige Grundlage schaffen – Anlagenüberwachung:

Die nachfolgende Tabelle dient dazu, die Effizienz des Anlagenbetriebs zu ermitteln und mögliche Schwachstellen im Anlagenbetrieb zu identifizieren.



Tabelle 6: Checkliste – Prüfen der Ausgangssituation

| Nr. | Schritte | Kommentar / Erläuterung / Erklärung | Check |
|------------|--|-------------------------------------|-------|
| 1 | Prozessbedingungen prüfen | | |
| | Läuft der Gärprozess stabil und effizient oder sind bereits vor dem erhöhten Einsatz an Koppelprodukten die prozesstechnischen Grenzen erreicht? Anhand der Überprüfung der Prozessführung, Prozessstabilität und Abbaueffizienz können zunächst ein Einblick in den prozesstechnischen Status des Anlagenbetriebes gewonnen und zu erwartende Änderungen durch die Anpassung des Substrateinsatzes abgeschätzt werden. | | |
| 1.1 | Einsatzstoffe | | |
| | <p>Was? Beprobung von TS-, oTS-/Asche- und Nährstoffgehalten (C, N, S) in den Gärsubstraten</p> <p>Womit? Es empfehlen sich Analysen bei einem akkreditierten Labor.</p> <p>Sonst noch wichtig: Inhaltsstoffe von Koppelprodukten können zum Teil stark schwanken. Es ist daher zu empfehlen, einige grundlegende Daten zu den tatsächlich eingesetzten Substraten zu ermitteln.</p> <p>Fazit: Anhand von Fütterungsmengen, TS, oTS und Gehalten an Makronährstoffen lassen sich die aktuelle Nährstoffzufuhr in die Biogasanlage bewerten sowie Änderungen bei Anpassung des Substratmixes durch Erhöhung des Koppelproduktanteils abschätzen. Damit lassen sich mögliche Probleme, z. B. durch hohe Stickstoffgehalte im Fermenter oder Schwefelgehalte im Biogas, frühzeitig erkennen und Gegenmaßnahmen ergreifen.</p> | | |
| 1.2 | Prozessführung | | |
| | <p>Was? Berechnung der organischen Raumbelastung und der mittleren hydraulischen Verweilzeit im beheizten Fermentersystem</p> | | |

| Nr. | Schritte | Kommentar / Erläuterung / Erklärung | Check |
|-----|--|-------------------------------------|-------|
| 1.2 | Prozessführung | | |
| | <p>Womit? Berechnung basierend auf dem Arbeitsvolumen des beheizten Fermentersystems und der Substratzufuhr, z. B. basierend auf dem Austauschverhältnis für bisher eingesetzte Substrate</p> <p>Fazit: Die Berechnung zeigt, ob bereits jetzt Grenzen der organischen Raumbelastung und der hydraulischen Verweilzeit erreicht werden. Ist dies der Fall, so ist eine Anpassung der Substratzufuhr durch den Einsatz von Koppelprodukten zu prüfen und ggf. eine verringerte Gasproduktion durch den Einsatz von Koppelprodukten in Kauf zu nehmen.</p> | | |
| 1.3 | Prozessstabilität | | |
| | <p>Was? FOS/TAC, flüchtige organische Säuren, NH₄-N, Spurenelemente</p> <p>Womit? Es empfehlen sich Analysen bei einem akkreditierten Labor.</p> <p>Fazit: Vor dem (gesteigerten) Einsatz von Koppelprodukten sollte das Vorliegen von Prozessstörungen ausgeschlossen werden. Liegen bereits hohe Säuregehalte oder hohe NH₄-Gehalte vor, so ist zu prüfen, inwiefern sich ein geänderter Substratmix auf diese Parameter auswirkt. Sind negative Effekte bezüglich der Prozessstabilität zu erwarten, dann sollte von einem erhöhten Einsatz an Koppelprodukten abgesehen werden.</p> | | |
| 1.4 | Abbaueffizienz | | |
| | <p>Was? Analyse des Restgaspotenzials, Bewertung der Methanproduktion bzw. der Energiebereitstellung im Vergleich zu Standardwerten</p> <p>Womit? Analyse des Restgaspotenzials nach VDI 4630 in einem geeigneten Labor. Vergleich der Gasproduktion der Biogasanlage mit der auf der Substratzufuhr basierenden theoretischen Gasproduktion entsprechend Standardwerten (z. B. KTBL: Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen).</p> <p>Sonst noch wichtig: Das relative Restmethanpotenzial ist eine geeignete Größe, um die Abbaueffizienz in der Biogasanlage zu bewerten. Eine Bilanz der Gasproduktion bzw. Energiebereitstellung setzt voraus, dass Fütterungs- und Methanmengen bzw. Daten zur Stromproduktion verlässlich erfasst werden. Die Analyse von TS- und oTS-Gehalten der Substrate kann die Genauigkeit der Bilanz verbessern.</p> <p>Fazit: Ist bereits vor dem (gesteigerten) Einsatz an Koppelprodukten ein hohes Restmethanpotenzial (z. B. > 8 % der produzierten Methanmenge in der Anlage) vorhanden, bzw. liegt die produzierte Methanmenge oder die Stromproduktion deutlich unter den zu erwartenden Werten, sollten zunächst Optimierungsmöglichkeiten des Substratabbaus in der Biogasanlage geprüft werden.</p> | | |

| Nr. | Schritte | Kommentar / Erläuterung / Erklärung | Check |
|-----|---|-------------------------------------|-------|
| 2 | Anlagentechnik prüfen | | |
| | Stößt die Anlagentechnik bereits im alltäglichen Anlagenbetrieb an Ihre Grenzen? Mithilfe geeigneter Messtechnik kann ein Überblick über den technischen Anlagenzustand gewonnen werden. Auch im zukünftigen Anlagenbetrieb mit hohem Einsatz an Koppelprodukten sollte eine messtechnische Überwachung von wichtigen Komponenten stets erfolgen und regelmäßig ausgewertet werden, um Veränderungen rechtzeitig festzustellen. | | |
| 2.1 | Stromverbräuche / Stromaufnahmen der Fermentertechnik | | |
| | <p>Was? Hauptverbraucher: Rührwerke, Einbringtechnik, Förderpumpen (Gülle/Substrat), mechanische Vorbehandlung</p> <p>Womit? Wirkleistungsmesszähler (günstig – Ablesen erforderlich) oder Messgeräte mit Datenlogg-funktion bzw. Verknüpfung mit Anlagensoftware/Steuerung</p> <p>Sonst noch wichtig: Auswertung/Visualisierung: Verbrauch kann über die Steuerung visualisiert werden (Kosten abschätzen), vereinfacht Anschaulichkeit und Auswertung, sonst Datendigitalisierung und eigenständige grafische Darstellung Zusammenhänge mit Fütterungsmengen der Substrate, TS-Gehalte im Gärbehälter und Gärtemperatur prüfen</p> <p>Fazit: Wenn die Verbraucher permanent mit ihrer maximalen Stromaufnahme laufen, ist ein (weiterer) Einsatz von Koppelprodukten ohne Anpassung der Technik nicht empfehlenswert.</p> | | |
| 2.2 | Wärmebedarf der Gärbehälter | | |
| | <p>Womit? Integration eines Wärmemengenzählers in den Heizkreislauf des Gärbehälters</p> <p>Sonst noch wichtig: Ermittlung der noch verfügbaren Wärme für eine potenzielle Temperaturerhöhung Vergleich der Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizkreises</p> <p>Fazit: Es müssen noch ausreichend Wärmemengen zur Verfügung stehen. Eine geringe Spreizung kann auf eine schlechte Wärmeübertragung hindeuten.</p> | | |
| 2.3 | Temperaturhaltung in den Gärbehältern | | |
| | <p>Womit? Geeignete Messgeräte: Temperatursensoren im Gärbehälter (Einbaustelle beachten! Platzierung nah an Heizung oder Ein- und Auslass beeinflusst die Temperatur!)</p> <p>Sonst noch wichtig: Visualisierung der Temperaturdaten, Abgleich mit Fütterungsmengen</p> <p>Fazit: Bei starken Schwankungen im Normalbetrieb (Ausnahme: direkt nach Fütterung) kann die Durchmischung beeinträchtigt sein. Zudem wird die Temperaturhaltung bei erhöhten Fütterungsmengen erschwert.</p> | | |

Weiterführende Literatur:

Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses – Laboranalytik, Biogas Forum Bayern e.V.
Empfehlungen für die messtechnische Ausstattung landw. Biogasanlagen, Biogas Forum Bayern e.V.
Biogasmessprogramm III, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Die richtige Einsatzplanung – Schwachstellen erkennen und beheben:

Wie kann nun der Einsatz von Koppelprodukten durch einen gezielten Tausch von notwendigen Anlagenkomponenten oder Änderungen in der Prozessführung vorbereitet werden? In einer Schwachstellenanalyse können mithilfe der vorab gezeigten Checkliste die notwendigen Maßnahmen selbstständig erarbeitet werden. Nachfolgend werden mögliche Optimierungsmaßnahmen aufgezeigt.

Allgemein muss die Frage gestellt werden, für welche Einsatzstoffe und Betriebsparameter die Biogasanlage ursprünglich ausgelegt wurde. Hier können bereits erste Grenzen wie maximale TS-Gehalte, Gärtemperaturvorgaben und weitere Vorgaben der Anlagenhersteller auftauchen. Die nachfolgenden Tabellen geben Aufschluss darüber, wann welche vorbereitenden Maßnahmen für eine Substratumstellung zu treffen sind.

Eine vernünftige und nachhaltige Planung sollte stets mit fachkundigen Beratenden erfolgen. Auch schadet es nicht, sich vor der Substratumstellung bei anderen Anlagenbetreibern zu erkundigen, die das gleiche Koppelprodukt einsetzen und optimalerweise ein ähnliches Anlagenkonzept aufweisen.

Tabelle 7: Schwachstellenanalyse – das Rührsystem

| Verminderte Durchmischung des Gärsubstrates / Hoher Rühraufwand erforderlich | |
|--|-------|
| | Check |
| Die Stromaufnahmen der Rührtechnik sind bereits hoch. | |
| Es treten Störungen bei der Rührtechnik auf. | |
| Es sind hohe Laufzeiten der Rührwerke notwendig, um eine Durchmischung zu erreichen. | |
| Es bilden sich sichtbare Schwimmschichten auf der Substratoberfläche. | |
| Die Wartungshäufigkeit ist hoch. | |



Wenn eine oder mehrere der aufgezählten Schwachstellen zutreffen, sollte eine Optimierung der Rührtechnik in Betracht gezogen werden. Die LaRA-Projektergebnisse haben gezeigt, dass der Aufwand für eine gute Homogenisierung mit der Einsatzmenge an Koppelprodukten steigt. Der Grund ist eine Abnahme der Fließfähigkeit aufgrund hoher Faseranteile in der Substratstruktur sowie die Zunahme des TS-Gehalts (s. Mythos 2). Insbesondere Rührkonzepte basierend auf Schnellläufern kommen schnell an ihre technischen Belastungsgrenzen.

Welche Optimierungsmaßnahmen sollten nun (vorbereitend) getroffen werden?

Verbesserung des Substratabbaus:

- Eine Verbesserung des Substratabbaus lässt sich bei einem auftretenden Mangel durch den Einsatz von Spurenelementen erreichen. Wird der Mangel ausgeglichen, so kann die Reproduktion der Mikroorganismen erhöht und die Abbaueffizienz verbessert werden. **Tipp:** Es empfiehlt sich, mindestens einmal pro Quartal das Gärsubstrat auf die essenziellen Spurenelemente zu prüfen und einen Mangel auszugleichen.
- Die richtige Auswahl und der Einsatz von für das Gärsubstrat angepassten Enzymen kann dazu beitragen, den Rührbedarf im Gärbehälter zu senken. Hinweis: Es gibt zahlreiche Enzymprodukte für unterschiedliche Anwendungen. Eine Beratung, welches Produkt sich für den Substratmix eignet, ist vor dem Einsatz sinnvoll. Wie sich die Fließfähigkeit des Gärsubstrates durch eine Enzymapplikation verändert, lässt sich vorab im Labor mittels Schrägrinntest ermitteln. Die Effekte sind insbesondere bei bereits auftretenden Prozessproblemen, wie ausgebildeten Schwimmschichten, schnell sichtbar.
- Ein Voraufschluss, z. B. durch eine mechanische Zerkleinerung, reduziert den Rühraufwand. Dadurch wird ein Einrühren erleichtert und die Homogenisierung des Gärinhaltes verbessert. Hinweis: Der Strombedarf der Aufschlusstechnik ist zu berücksichtigen.

Erhöhung der Gärtemperatur:

- Wie bereits in Mythos 4 gezeigt, kann mit steigender Gärtemperatur die Fließfähigkeit im Fermenter verbessert und somit der Eigenstrombedarf und der Rühraufwand gesenkt werden. Hinweis: Ein Anstieg der notwendigen Heizleistung durch eine vermehrte Fütterung von Koppelprodukten und dadurch bedingter Abnahme der Viskosität im Gärmedium ist zu berücksichtigen.

- Zudem sollten der Temperaturbereich und die Temperaturhaltung vorab bedacht werden. Häufig schwankende Gärtemperaturen, insbesondere zwischen dem mesophilen und thermophilen Temperaturniveau, sind zu vermeiden. Dies wirkt sich negativ auf die Ausbildung einer stabilen Population an Mikroorganismen aus und beeinträchtigt die Effizienz des Gärprozesses. **Tipp:** Es empfiehlt sich, ein erhöhtes Temperaturniveau festzulegen, wenn dieses über das Jahr (insbesondere im Winter) gehalten werden kann. Man sollte die Wärmerhaltung und die Heizleistung für den Gärbehälter dahingehend rechtzeitig optimieren (siehe Schwachstellenanalyse – das Heizkonzept).
- Hinweis: Bei eingebauten Tauchmotorrührwerken muss der Kühleffekt durch das Gärsubstrat noch gegeben sein. Auch die Temperaturgrenzen des Gärbehälterbetons müssen berücksichtigt werden.



Abb. 24: Mechanischer Voraufschluss

Umrüstung und Neugestaltung des Rührkonzepts:

- Paddelrührwerke und weitere Langsamläufer mit hohem Schubvermögen sorgen für eine verbesserte Substratbewegung bei zähflüssigen Gärsubstraten. Treten die Schaufeln über die Substratoberfläche, so lassen sich selbst ausgebildete Schwimmschichten wieder gut einrühren. Die Anzahl der Rührwerke ist auf die Behältergröße abzustimmen. Tipp: Einbauposition eines Langsamläufers nahe der Feststoffeinbringung (ca. 1 m) ermöglicht bestmögliches Einrühren der Substrate.

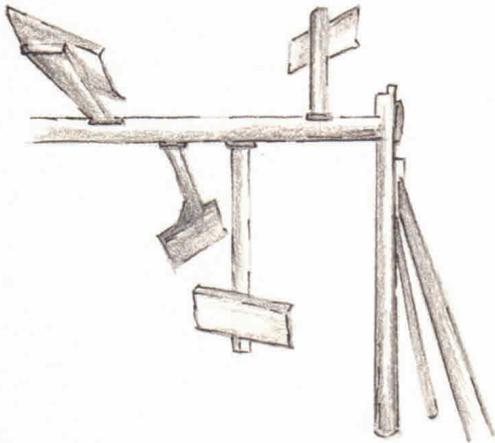


Abb. 25: Langsamläufer

- Schnellläufer mit einer bodennahen Rührposition gegenüberliegend zu einem Paddelrührwerk können helfen, mögliche Sedimentationen zu vermeiden oder aufzulösen. Hinweis: Schubvermögen muss bei zähflüssigen Medien möglich sein.

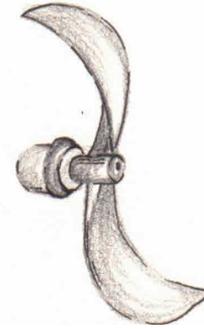


Abb. 26: Schnellläufer

Achtung: Hohe Gärtemperaturen begrenzen die Kühlmöglichkeiten für Tauchmotoren.

- Bei einer Wandheizung sollte mindestens ein Rührwerk so ausgerichtet sein, dass eine Turbulenz entsteht, um warmes Gärmedium vom Wandbereich in die Gärbehältermitte zu befördern. Dies garantiert eine gute Temperaturverteilung im Behälter.
- Eine hohe Rührleistung und robuste Technik ermöglicht es, zähflüssiges Substrat schneller in Bewegung zu bringen und kann die Rührzeiten dadurch in Summe reduzieren, was die Betriebskosten der Technik und den Wartungsaufwand verringert.
- Frequenzumrichter sorgen für ein sanftes Anfahren der Rührwerke und senken den Strombedarf.

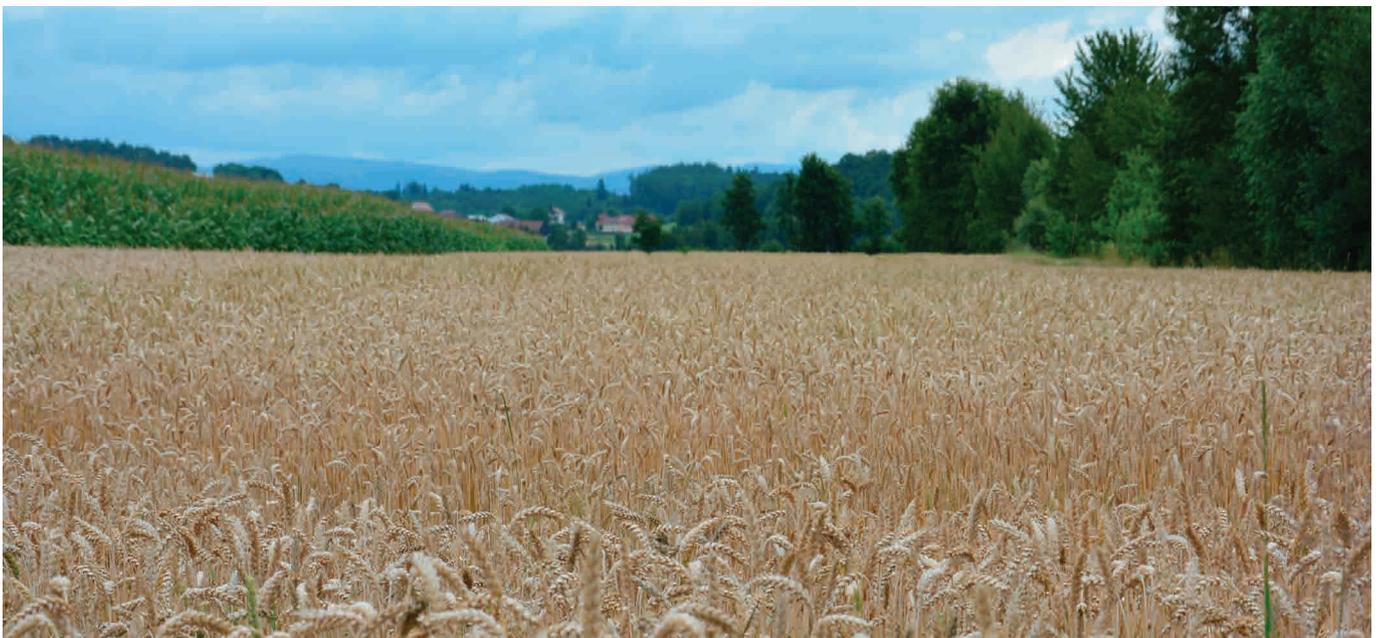


Tabelle 8: Schwachstellenanalyse – das Heizkonzept

| Schlechte Wärmehaltung im Gärbehälter / Erhöhter Wärmebedarf in der Biogasanlage | |
|---|-------|
| | Check |
| Die Gärtemperatur folgt dem Trend der Umgebungstemperatur. | |
| Es ist eine geringe Spreizung der Vor- und Rücklauf­temperatur des Heizkreises vorhanden. | |
| In der Betondecke treten vermehrt Risse auf. | |
| Es ist eine ungleiche Wärmeverteilung im Fermenter erkennbar. | |

Schwachstellen im Heizkonzept führen zu einer verminderten Wärmeverteilung im Fermenter, einem erhöhten Wärmebedarf und folglich zu einer Verlangsamung des Substratabbaus.

Welche Optimierungsmaßnahmen sollten nun (vorbereitend) getroffen werden?

Behälterdämmung prüfen, Dämmfehler erkennen und optimieren:

- Oftmals wird bei der Planung das Thema Dämmung vernachlässigt. Deshalb sollte die Qualität der Dämmung geprüft und gegebenenfalls durch neue oder dickere Dämmung ausgetauscht werden.
- Bei Wärmedämmung im Gärbehälter ist diese mit einer Dampfsperre auszustatten, da ansonsten die feuchte Umgebung die Dämmwirkung auf ein Minimum reduziert.
- Eine Betondecke sollte grundsätzlich isoliert sein, um die Wärmehaltung zu verbessern und der Rissbildung entgegenzuwirken.
- **Tipp:** Wärmeverluste entstehen zudem über die Membranen des Gasspeichers eines Gärbehälters. Mittlerweile gibt es die Möglichkeit, Wärmeschutzfolien in das Gasspeichersystem zu integrieren, um die Verluste zu begrenzen.

Unzureichende Heiztechnik / Heizkonzepte verbessern:

- Stößt die herkömmliche Heiztechnik an ihre Grenzen, kann die Nachrüstung zusätzlicher Heizleistung notwendig werden. An den LaRA-

Praxisanlagen wurde beobachtet, dass insbesondere bei großen Mengen an Koppelprodukten Probleme auftreten und die Heiztechnik erweitert oder durch eine externe Substratheizung ergänzt werden musste.

- Für eine bestmögliche Temperaturverteilung im Gärbehälter und eine Vermeidung von Wärme­hotspots ist stets auf eine gute Durchmischung zu achten.
- Die Überprüfung der Temperaturdifferenz von Vorlauf- und Rücklauf­temperatur gibt Aufschluss über die Effizienz des Heizsystems. So kann eine geringe Wärmeabgabe sichtbar gemacht werden. Dies ist häufig auf ein Absetzen von Gärsubstrat an den Heizrohren zurückzuführen (auch Sink­schicht).
- Bei wandintegrierten Heizleitungen treten keine Substratanhaftungen auf. Befinden sich die Leitungen aber im unteren Fermenterbereich, so kann dennoch die Heizleistung durch Sedimentation beeinträchtigt sein.

- Der Einbau einer externen Substraterwärmung ist ein häufig beobachteter Lösungsansatz in der Praxis. Dabei wird Gärsubstrat aus dem Behälter gepumpt, über Rohrbündelwärmetauscher erwärmt und anschließend in den Gärprozess zurückgeführt. Hinweis: Es empfiehlt sich, neben der technischen Betrachtung auch einen wirtschaftlichen Vergleich einer Neuinvestition zur Erweiterung einer bestehenden Wandheizung zu ziehen. Zudem gilt es zu beachten, dass aufgrund der Zähflüssigkeit eine Verstopfung des Wärmetauschers möglich sein kann. Daher sollte auf einen ausreichenden Durchmesser (abhängig vom TS-Gehalt) geachtet werden. Die Integration einer Zerkleinerungstechnik vor dem Wärmetauscher kann ebenfalls sinnvoll sein.
- Hinweis: Faserhaltige Partikel haften oft an den im Gärbehälter verbauten Heizrohren. Bei Erweiterung oder Umrüstung der Heiztechnik ist daher auf ausreichend Abstand zwischen der Behälterwand und den Rohrleitungen zu achten. Geriffelte Rohrleitungen vergrößern zwar die Heizoberfläche, sind jedoch anfälliger für das Absetzen und Anbacken fester Substratanteile.
- **Tipp:** Sollte eine Flüssigfütterung geplant oder vorhanden sein, so kann es sinnvoll sein, das gefütterte Substrat bereits vor der Einbringung in den Gärbehälter aufzuheizen. Insbesondere im Winter können so lokale Temperaturschocks bei der Einbringung vermieden werden.

Tabelle 9: Schwachstellenanalyse – die Substratförderung

| Schlechter Substrattransport in der Biogasanlage | |
|---|-------|
| | Check |
| Regelmäßig verstopfen die Überläufe bzw. Stellen im Pumpenkreislauf. | |
| Die Pumpzeiten sind hoch / der Eigenstrombedarf der Pumpe ist erhöht. | |
| Die Wartungshäufigkeit ist hoch. | |

Welche Optimierungsmaßnahmen sollten nun (vorbereitend) getroffen werden?

- Freie Überläufe stoßen schnell an ihre Grenzen und sollten durch ein passendes Verteilpumpsystem ersetzt werden.
- Bestehende Pumpsysteme, die auf niedrige TS-Gehalte ausgelegt sind (z. B. Drehkolbenpumpen), oder eine verwinkelte Rohrführung im Pumpsystem führen zu vermehrten Störungen und langfristig zu hohen Instandhaltungskosten.
- Lange Pumpstrecken sind zu vermeiden. Zudem sollten Rohrleitungen ausreichend groß dimensioniert und möglichst gerade ausgeführt sein.
- Exzentrerschnecken- oder Kolbenpumpen sind bei zähflüssigen Medien gut geeignet.

- **Tipp:** Alle Maßnahmen für die Verbesserung der Fließfähigkeit des Gärsubstrates können eine sinnvolle Unterstützung der Pumptechnik sein.



Abb. 27: Substratverteilerpumpe

Tabelle 10: Schwachstellenanalyse – die Substrateinbringung

| Die Substrateinbringung funktioniert erschwert / Laufzeiten der Fütterungstechnik sind hoch | |
|--|-------|
| | Check |
| Es sind lange Einbringwege (z. B. Schneckenführung) und/oder geringe Durchmesser der Einbringsschnecken für feste Substrate vorhanden. | |
| Es kommt regelmäßig zu Störungen/Verstopfungen im Eintragungssystem. | |
| Die Volumina bei der Einbringung sind an der Grenze. | |

Welche Optimierungsmaßnahmen sollten nun (vorbereitend) getroffen werden?

- Eine Schichtung der leichteren mit schwereren Einsatzstoffen bietet den Vorteil, dass mehr Volumen im Feststoffeintrag aufgenommen und die Fütterung über Schneckensysteme erleichtert werden kann. Hinweis: Es ist die geringere Schüttdichte der Koppelprodukte zu berücksichtigen. Es kann zu einer Verlängerung der Fütterungszeiten kommen, um die erforderlichen Mengen einzubringen. Das führt zu einer Erhöhung des Eigenstrombedarfs der Technik.
- Vor der Einbringung in den Fermenter sollte ein Auflockern des Substrates erfolgen, damit Verstopfungen im Fördersystem vermieden werden.
- Lange Einbringwege und eine komplexe Anordnung von mehreren Förderschnecken erhöhen die Gefahr von Verstopfungen und Störungen und sollten vermieden werden. Tipp: Es ist auf eine große Dimensionierung der Schnecken-durchmesser bei der Planung zu achten.
- Hohe Gärbehälter erschweren die Einbringung faserhaltiger Einsatzstoffe über Schneckensysteme, da der Substratspiegel überwunden werden muss. Tipp: Eine Umstellung auf Flüssigfütterung kann hier in Erwägung gezogen werden. Es hat sich in der Praxis bewährt, diese mit einer mechanischen Voraufschlusstechnik zu kombinieren.

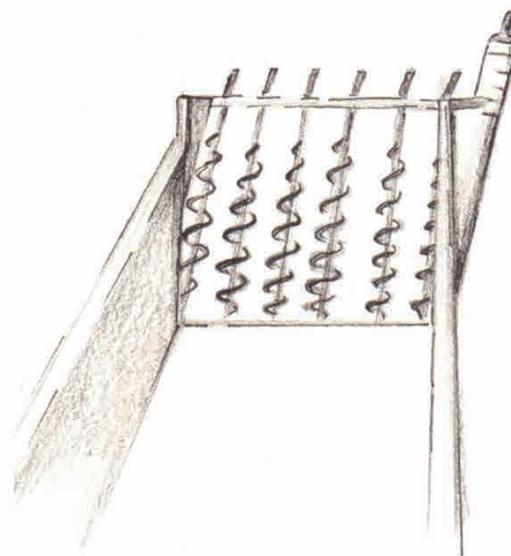


Abb. 28: Einbringtechnik



Abb. 29: Fermenternahe Feststoffeinträgung

Tabelle 11: Schwachstellenanalyse – Schwefelwasserstoff

| Hohe Schwefelwasserstoffanteile im Biogas | |
|---|-------|
| | Check |
| Es kommt zu plötzlichen oder kontinuierlich hohen Anstiegen der Schwefelwasserstoffkonzentration im Biogas. | |
| Die Gasproduktion sinkt aufgrund an Schwefel gebundener Nährstoffe. | |
| Die Standzeit vorhandener Aktivkohlefilter ist kürzer als erwartet. | |
| Die Materialien werden langfristig durch Schwefelsäure geschädigt. | |

Beim Einsatz von Koppelprodukten steigt der Anteil der Schwefelverbindungen im Gärsubstrat.

Welche Optimierungsmaßnahmen sollten nun (vorbereitend) getroffen werden?

- Eisenprodukte, wie Eisenhydroxid als Sackware oder Eisenschlamm, sowie Eisenchlorid in flüssiger Form können dem Gärsubstrat zugeführt werden und binden den Schwefel durch eine Fällungsreaktion. Insbesondere beim Auflösen von Schwimmschichten ist der sprunghafte Anstieg von Schwefelwasserstoff zu berücksichtigen und vorzubeugen. Hinweis: Schwefel ist reaktionsfreudig und bindet Spurenelemente im Gärsubstrat, die für die Mikroorganismen dann nicht mehr zur Verfügung stehen. Dadurch kann ein Mangel an verfügbaren Spurenelementen entstehen, auch

wenn die im Labor gemessenen Konzentrationen in einem guten Bereich liegen. Eine Zugabe an Eisenpräparaten wirkt diesem Effekt entgegen.

- Neuartige BHKW erfordern enorm niedrige Schwefelwasserstoffgehalte, sodass mehrere Entschwefelungsstufen mit einem abschließenden Aktivkohlefilter nötig sind.
- Das Eindüsen von Luft in den Gasraum des Gärbehälters sollte gerade bei hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen gut durchdacht werden, da sich aufgrund des gesättigten Gases schwefelige Säuren bilden, die den Beton und weitere Komponenten im Fermenter beschädigen. Hier können die Instandsetzungskosten die Kosten der alternativen Entschwefelungsmethoden übersteigen.

Zusammenfassung der wichtigsten anlagen- und prozesstechnischen Herausforderungen beim Einsatz von Koppelprodukten

- Die Fließfähigkeit des Gärmediums ist der Schlüsselfaktor für auftretende Prozess- und Betriebsprobleme.
- Eine Kürzung der Faserlängen und Partikelgrößen reduziert Störungen und Probleme im Anlagenbetrieb wesentlich.
- Man sollte auf die Dimensionierung und Robustheit der Anlagentechnik achten.
- Bei dickflüssigem Gärsubstrat empfiehlt es sich, Langsamläufer zu integrieren.
- Ein erhöhter Heizbedarf erfordert oft eine Anpassung des bestehenden Heizsystems.
- Auf höhere Schwefelgehalte ist zu achten.

4.3 Wirtschaftlichkeit

Neue Auflagen und Kostensteigerungen zwingen Betreibernde stetig dazu, Abläufe zu optimieren und für neue Konzepte offen zu sein. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit für den Betreibenden einer Biogasanlage ein zentraler Aspekt. Auf den ersten Blick erscheint der Einsatz landwirtschaftlicher Koppelprodukte ggü. dem NawaRo-Einsatz günstiger. Wie Zahlen aus der Praxis aussehen, wie die Wirtschaftlichkeit der eigenen Anlage kalkuliert werden kann und wo die Fallstricke liegen, wird in diesem Kapitel näher beleuchtet.

4.3.1 Methodik bei der wirtschaftlichen Kalkulation

Nachfolgend soll zunächst dargestellt werden, wie bei der Kalkulation der Wirtschaftlichkeit vor-

gegangen wurde. Ziel der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Praxisanlagen ist es, für jede Anlage eine Vollkostenrechnung mit allen betriebswirtschaftlichen Kennzahlen zu erstellen. Dem wird eine Vergleichsanlage mit ortsüblichem NawaRo-Einsatz entgegengestellt, um die Vorzüglichkeit der Koppelprodukte individuell darzustellen. Daran schließen Empfehlungen für die Vorgehensweise für die Umstellung der eigenen BGA an.

Kalkulationsgrundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Das folgende Schaubild stellt überblicksartig die Struktur der Berechnung dar. Die einzelnen Kennzahlen werden im Anschluss erläutert.

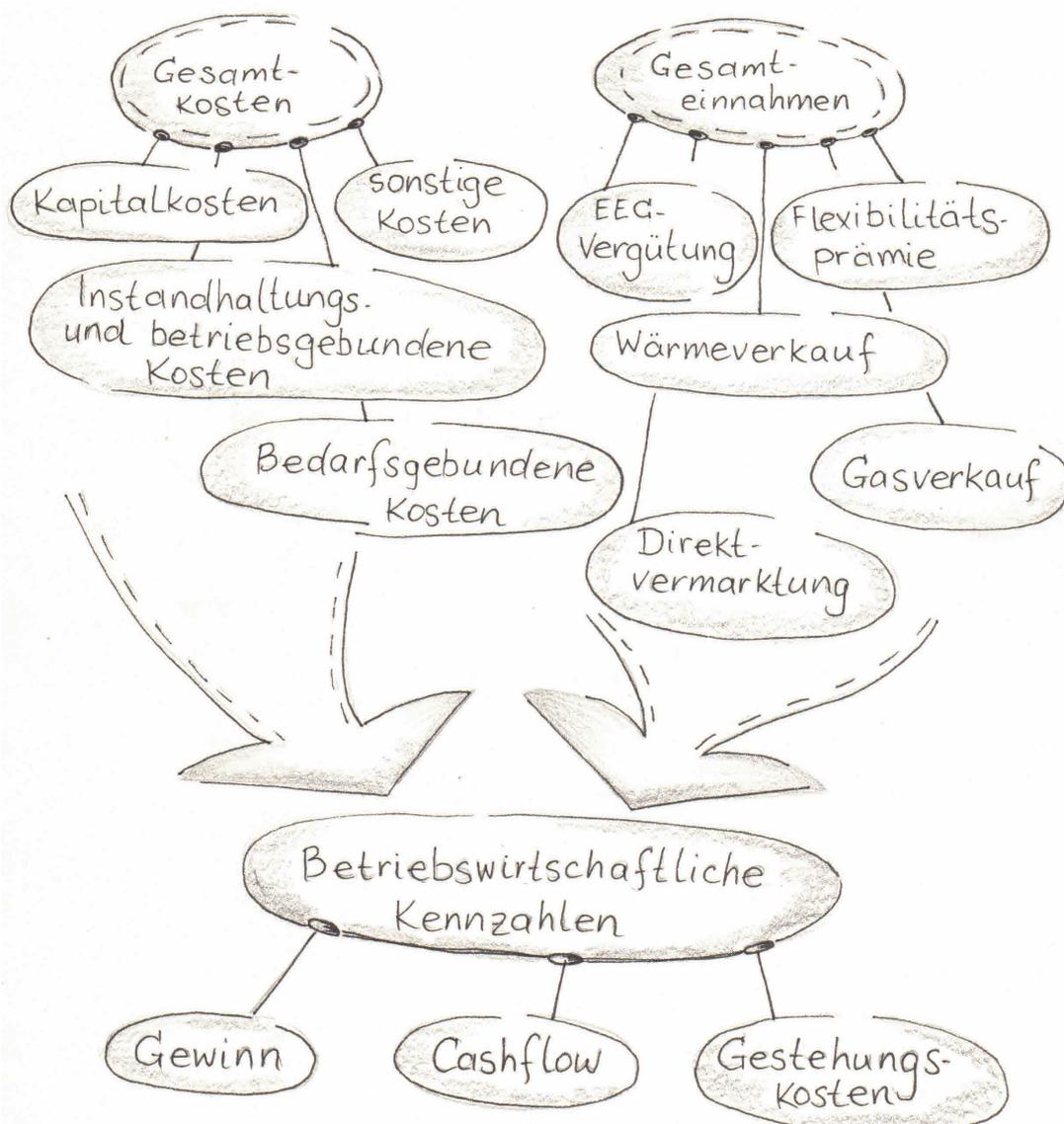


Abb. 30: Struktur der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Erläuterung Kostenblöcke

Unter die Kapitalkosten fällt die Abschreibung für sämtliche der Biogasanlage zugeordneten Einrichtungen und die entsprechenden Zinskosten.

Die Instandhaltungs- und betriebsgebundenen Kosten beinhalten alle Reparatur- und Wartungskosten einschließlich der Bedienung der Anlage. Die Höhe der benötigten Stunden für die Anlagenbedienung ist von der Anlagengröße abhängig.

Unter bedarfsgebundenen Kosten finden sich alle Kosten, die dem Betrieb direkt zuordenbar sind. Darunter fallen Substratkosten frei Anlage, Kosten für Eigenstromverbrauch, Zusatzstoffe, Spurenelemente oder auch Enzyme. Auch die Gärproduktausbringung kann je nach Vereinbarung mit substratliefernden Betrieben ein Kostenpunkt sein.

Die sonstigen Kosten beinhalten alle Aufwendungen für Versicherungen, Gutachten, Bürgschaften und weitere Kosten, die nicht dem Anlagenbetrieb direkt zuordenbar sind.

Erläuterung der Einnahmeblöcke

Die EEG-Vergütung ist in der Regel die Haupteinnahmequelle, setzt sich aus Basisvergütung und ggf. anlagenspezifischen Boni (NawaRo-, Gülle-, KWK-, Landschaftspflege-, Luftreinhalte-, Technologiebonus) zusammen und ist vom Inbetriebnahmehjahr und dem jeweils für die Anlage gültigen EEG abhängig.

Die Flexibilitätsprämie kann seit 2012 beantragt werden und ist in seiner Auszahlungshöhe sehr anlagenspezifisch. Entscheidend ist hier der Grad der Überbauung der Bemessungsleistung. Eine bis zu 4,7-fache Überbauung wird unterstützt.

Über das EEG hinaus können im Rahmen der Direktvermarktung zusätzliche Erlöse erzielt werden.

Einnahmen aus dem Wärmeverkauf werden oft noch unterschätzt. In Anbetracht steigender Kosten, ist es aber sehr ratsam, die Wärmeverwertung zu optimieren.

Bei Anlagen, die das Rohbiogas aufbereiten und ins Erdgasnetz einspeisen, entfallen die oben genannten Einnahmen. Stattdessen wird Rohbiogas oder Biomethan verkauft. Die Vergütung unterliegt dem Marktgeschehen und wird individuell vereinbart. Wird das Gas dabei einer Nutzung im Verkehrssektor zugeführt, können weitere Erlöse im Bereich des Quotenhandels erzielt werden, s. Kapitel 4.3.2.

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

Der erzielbare Gewinn definiert sich aus der Differenz von Einnahmen und Kosten.

Der Cashflow beziffert die verfügbaren Mittel für Investitionen.

Die Gestehungskosten (Strom oder Gas) beziffern die Summe sämtlicher Kosten auf 1 kWh heruntergerechnet, sodass ein direkter Anlagen- bzw. Systemvergleich möglich ist.

Ein direkter Vergleich von Anlagen anhand des Gewinns gestaltet sich schwierig, da jede Anlage und die zugehörige Vermarktungsstruktur sehr individuell ist. Deswegen werden als Vergleichsgröße vor allem die Stromgestehungskosten herangezogen.

Diese errechnen sich nach folgender Formel:

$$\text{Stromgestehungskosten} \left[\frac{\text{ct}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Summe aller Kosten} \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right] * 100 \left[\frac{\text{ct}}{\text{€}} \right]}{\text{Eingespeiste Strommenge} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]}$$

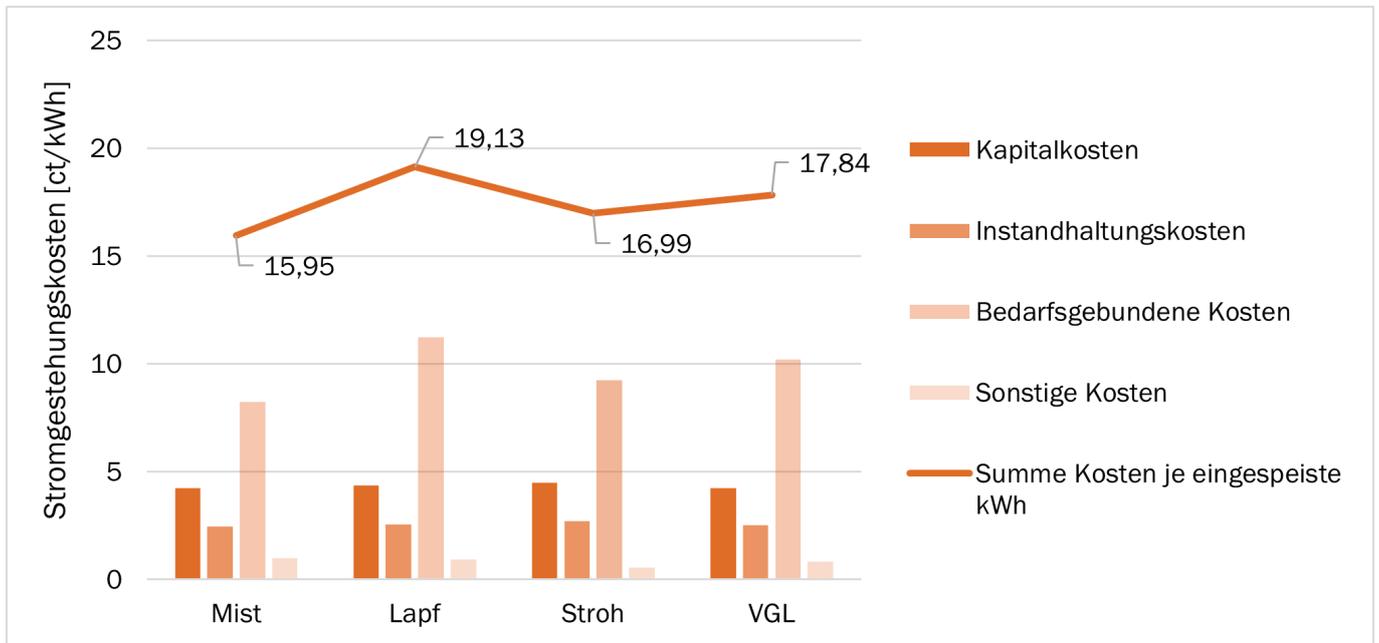


Abb. 31: Stromgestehungskosten nach Koppelprodukten

Ergebnisse der Praxisanlagen

Abbildung 31 zeigt – aufgliedert in die verschiedenen Koppelprodukte – die durchschnittlichen Stromgestehungskosten der 15 im Projekt untersuchten Anlagen. Zudem wurde für jede Praxisanlage eine individuelle Vergleichsanlage erstellt und berechnet, die keine Koppelprodukte, sondern örtlich verfügbare Energiepflanzen einsetzt. Der angegebene Wert stellt die durchschnittlichen Stromgestehungskosten sämtlicher 15 Vergleichsanlagen dar. Dabei ist zu beachten, dass es sich um reale Werte aus den Jahren 2020 und 2021 handelt. Dies sind Momentaufnahmen, die sich durch das Marktgeschehen verändern können.

Am auffälligsten ist der Kostenvorsprung von Mistanlagen mit einer Gesamthöhe von 15,95 ct/kWh zu erkennen. Dies ist vor allem auf die niedrigen Substratkosten zurückzuführen. In der Regel besteht hier der Substratpreis im Wesentlichen aus den Kosten für den Misttransport und entsprechender Gärproduktrückführung. Für das Koppelprodukt selbst fallen meist nur geringe Kosten an.

Betrachtet man die Kostenstruktur von Landschaftspflegegrasanlagen, stechen die hohen bedarfsgebundenen Kosten ins Auge. Dies ist vor allem auf die hohen Erntekosten zurückzuführen. Zwar entsprechen

die Erntekosten je to FM etwa denen von Grassilage, die Gasausbeute von Landschaftspflegegras liegt aber nur bei etwa 66 % einer qualitativ guten Grassilage. Zusätzlich erhöht sich der Eigenstrombedarf, da mit höheren TS-Gehalten gearbeitet wird, was längere Laufzeiten bei den Rührwerken und beim Beschicker mit sich bringt.

Die durchschnittlichen Stromgestehungskosten von Strohanlagen liegen zwischen denen von Mist- und Lapf-Anlagen. Dabei gibt es aber wiederum eine große Bandbreite – auch was die Substratkosten angeht. Die Spanne bei den betrachteten Anlagen reicht hier von 4-36 € je to FM frei Feld. Auch bei Nutzung von Stroh von betriebseigenen Flächen muss dieser Vergleichswert als Opportunitätskosten herangezogen werden. Zudem liegen die Kapitalkosten bei den Strohanlagen etwas höher als bei den anderen. Zurückzuführen ist dies auf die meist nötige Aufschlusstechnik und den damit verbundenen zusätzlichen Anschaffungswert.

Betrachtung der EEG-Einnahmenseite

Diese ist wiederum von vielen Faktoren, wie beispielsweise Inbetriebnahmejahr, Inputmaterial, Anlagengröße und örtliche Gegebenheiten, abhängig. Die Lage entscheidet oft über die Nutzung der Wärme und entsprechenden KWK-Bonus- bzw. Wärmeinnahmen. Außerdem ist es von den örtlichen Gegebenheiten abhängig, ob die Gasaufbereitung und -einspeisung eine Alternative zur Strom- und Wärmeerzeugung sein kann. Damit verbunden wären Einnahmen durch den Gasverkauf am freien Markt sowie Quotenerlöse, wenn das Biomethan Anwendung im Kraftstoffsektor findet.

Je nach Inbetriebnahmejahr kann sich durch Änderung der Einsatzstoffe auch die Einnahmenstruktur verändern, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Ein „+“ bedeutet, dass dieser Bonus im jeweiligen EEG möglich wäre. Wurden Boni rückwirkend eingeführt, ist dies in Textform gekennzeichnet. Welche Boni speziell durch den Einsatz der betrachteten Koppelprodukte bezogen werden können, ist durch Punkte in substratspezifischen Farben hervorgehoben.

Tabelle 12: Überblick Boni im EEG

| Bonus | EEG | | | | Koppelprodukt | | |
|--------------------------------------|-------|-------|------|------|---------------|-------|------|
| | 2000 | 2004 | 2009 | 2012 | Mist | Stroh | Lapf |
| NawaRo | Ab 04 | + | + | - | | | |
| Gülle | Ab 09 | Ab 09 | + | - | ● | | |
| Lapf | Ab 09 | Ab 09 | + | - | | | ● |
| KWK | Ab 09 | + | + | - | | | |
| Formaldehyd | Ab 09 | Ab 09 | + | - | | | |
| Technologie (Trockenfermentation) | - | + | + | (+) | ● | ● | ● |
| EVK I / II | - | - | - | + | ● | ● | ● |

Ab dem EEG 2014 wurden die Boni gänzlich abgeschafft. Es gab unabhängig vom Substrateinsatz ausschließlich die Grundvergütung, weshalb diese EEG-Novellierungen nicht in der Tabelle aufgeführt sind. Anlagen mit Inbetriebnahmedatum bis Ende 2011 können beim Einsatz von über 30 Masseprozent Mist und gleichzeitigem Erhalt des NawaRo-Bonus vom Güllebonus profitieren. Zudem können Anlagen, die bis Ende 2008 In Betrieb gegangen sind, durch Ersatz von Gülle durch Mist zusätzlich bzw. auch unabhängig vom Güllebonus den sogenannten Technologiebonus (Trockenfermentation) erhalten. Anlagen mit Inbetriebnahme bis Ende 2011 können bei Einsatz von Landschaftspflegegras durch den Landschafts-

pflgebonus Mehreinnahmen generieren, wenn mindestens 50 Masseprozent eingesetzt werden.

Das EEG unterliegt vielen Novellierungen und wurde für Anlagen mit Inbetriebnahme nach dem 1.1.2012 grundlegend verändert. Ab diesem Zeitpunkt erhält eine Anlage eine Basisvergütung und zusätzlich, anteilig nach Einsatzstoffen, die Vergütung nach EVK I oder II. Für Strom aus Substraten der EVK II werden höhere Erlöse als aus solchen der EVK I erzielt. Alle hier betrachteten Koppelprodukte sind der Einsatzstoffklasse II zuzuordnen und können somit höhere Einnahmen erlösen.

Betriebswirtschaftliche Herangehensweise

Tabelle 13: Ermittlung der Kenngrößen für die eigene Anlage

| | | Davon betroffen | Gesamt |
|--|-------------------------|--|--------|
| Kosten in €/a | Kapitalkosten | <ul style="list-style-type: none"> • Einbringtechnik • Aufschlusstechnik • Pump- und Rührtechnik • Substratlagerraum • Gaslagerraum • Gärproduktlagerraum • Heiztechnik | |
| | Instandhaltungskosten | • s. o. | |
| | Bedarfsgebundene Kosten | <ul style="list-style-type: none"> • Strombezug • Substratkosten • Prozesshilfsmittel • Gärproduktausbringung | |
| | Sonstige Kosten | • Gutachten | |
| | Summe Kosten | | |
| Einnahmen in €/a | Stromvergütung | • EEG-Einnahmen, s. Tabelle 12 | |
| | Wärmenutzung | • Fermenterwärmebedarf | |
| | Gärproduktnutzung | • Nährstoffgehalte | |
| | Gasverkauf | • THG-Quotenerlöse | |
| | Summe Einnahmen | | |
| Unternehmergewinn in €/a | | = Einnahmen - Kosten | |
| Gewinn in €/a | | = Unternehmergewinn + Lohnansatz | |
| Stromgestehungskosten in ct/kWh | | = Summe Kosten / eingespeiste Strommenge | |
| Cashflow | | = Unternehmergewinn + Abschreibung | |
| Gesamtkapitalrentabilität | | = (Gewinn+Zinskosten)/(Anschaffungswert/2) | |

In der folgenden Tabelle werden beispielhaft drei Szenarien miteinander verglichen. Betrachtet wird eine fiktive Biogasanlage mit 400 kW Bemessungsleistung, IBN 2010, deren Silolagerraum und Gärvolumen noch nicht vollständig ausgeschöpft sind.

Szenario 0: Ausgangssituation mit 34 % Gülle und 66 % Silomais

Szenario 1: 15 % der Silomaismenge wird durch Maisstroh ersetzt. Durch die moderate Einsatzstoffänderung muss keinerlei bauliche Änderung an der Anlage vorgenommen werden.

Szenario 2: Die Anlage muss die Anforderungen des Maisdeckels (30 %) einhalten und ersetzt den darüber hinaus gehenden Anteil an Silomais durch Maisstroh. Durch die erhebliche Änderung der Einsatzstoffe muss Silolagererraum sowie eine mechanische Vorbehandlung zugebaut werden.

Es ist zu erkennen, dass Szenario 1 wirtschaftlich am vorzüglichsten abschneidet. In Szenario 2 gleichen die niedrigeren bedarfsgebundenen Kosten die gestiegenen Kapital- und Instandhaltungskosten aus. Es ergibt sich aber kein nennenswerter Vorteil gegenüber Szenario 0.

Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit der Vergleichsszenarien

| | | Szenario 0 | Szenario 1 | Szenario 2 |
|---------------------------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Substrate | | Silomais + Gülle | 15 % Maisstroh | 30 % Maisdeckel |
| Gülle | 1 €/t | 3.500 t/a | 3.500 t/a | 3.500 t/a |
| Silomais | 40 €/t | 6.738 t/a | 5.615 t/a | 3.000 t/a |
| Maisstroh | 25 €/t | 0 t/a | 1.010 t/a | 3.500 t/a |
| Zusammenstellung | | | | |
| Einnahmen gesamt | | 730.320 €/a | 730.320 €/a | 730.320 €/a |
| Abschreibung | | 78.206 €/a | 78.206 €/a | 124.480 €/a |
| Zinskosten | | 15.657 €/a | 15.657 €/a | 20.888 €/a |
| Instandhaltungskosten | | 75.860 €/a | 75.860 €/a | 94.751 €/a |
| Bedarfsgebundene Kosten | | 355.602 €/a | 333.261 €/a | 286.123 €/a |
| Sonstige Kosten | | 50.315 €/a | 50.315 €/a | 50.315 €/a |
| Unternehmergewinn | | 154.680 €/a | 177.021 €/a | 153.763 €/a |
| Lohnansatz | | 53.387 €/a | 53.387 €/a | 53.387 €/a |
| Gewinn | | 208.067 €/a | 230.408 €/a | 207.150 €/a |
| Kennzahlen | | | | |
| Anschaffungswert | | 1.241.176 € | 1.241.176 € | 1.643.176 € |
| Gesamtkapitalrentabilität | | 27 % | 31 % | 21 % |
| Cashflow | | 232.886 €/a | 255.227 €/a | 278.243 €/a |
| Stromgestehungskosten | | 16,45 ct/kWh | 15,81 ct/kWh | 16,47 ct/kWh |

4.3.2 Treibhausgasbilanz – eine Beispielberechnung

Kraftstoffmarkt und Quotenhandel

Wenn man über den Kraftstoffmarkt spricht, kommt man am THG-Quotenhandel nicht mehr vorbei. Die handelbaren THG-Zertifikate werden von vielen bereits als neue Währung gesehen. Hintergrund ist, dass Inverkehrbringer von Kraftstoffen, also jede Tankstelle, eine gesetzlich vorgeschriebene THG-Minderungsquote erfüllen müssen. Im Jahr 2023 beträgt diese 8 % verglichen mit einem fossilen Referenzwert. Die verpflichtende Minderungsquote steigt bis 2030 auf 25 % an. Sie kann über den Zukauf von Kraftstoffen mit geringen THG-Emissionen oder durch den bilanziellen Zukauf von THG-Minderungsquoten erfüllt werden. Kann nun ein Inverkehrbringer

von Kraftstoffen diesen Wert nicht einhalten, fallen Strafzahlungen – sog. Pönalen – in Höhe von 600 €/t CO₂ (ab 2022) an. Die Bereitschaft gute Preise für THG-Minderungszertifikate zu zahlen, ist daher relativ hoch. Basis für die Preisermittlung ist die individuelle THG-Bilanz, die Auskunft über die Minderungsquote des eigenen Kraftstoffs gibt. Diese kann anhand von Standardwerten oder anlagenspezifisch berechnet werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt Standardwerte aus der RED II für die drei Substratgruppen Bioabfall, Gülle und Mais.

Tabelle 15: Standardwerte kg CO₂/MJ im Kraftstoffmarkt nach RED II

| | Bioabfall | Gülle | Mais |
|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Anbau | 0 | 0 | 17,6 |
| Verarbeitung | 7,2 | 4,4 | 6,0 |
| Aufbereitung | 6,3 | 6,3 | 6,3 |
| Transport | 0,5 | 0,9 | 0,0 |
| Kompression an der Tankstelle | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| Gutschrift | 0 | -111,9 | 0 |
| Gesamtstandardwert | 18,6 | -95,7 | 34,5 |

Exkurs: Stromvermarktung im Kraftstoffbereich

Denkbar wäre auch die Vermarktung von Strom an einen Betreibenden von Ladesäulen. Hierbei muss beachtet werden, dass eine Kombination von geförderter Direktvermarktung und Sonstiger Direktvermarktung rechtlich sehr schwierig umsetzbar ist. Wer sich dafür interessiert, sollte dies im Vorfeld prüfen und eventuelle Fallstricke genau ausloten. Vorzüglich hierbei ist, dass ohne besondere Investitionen eine Teilnahme am THG-Quotenhandel für jede Anlage möglich ist.



Strom- und Wärmemarkt

Seit der Umsetzung der RED II in nationales Recht regelt die BioSt-NachV, dass auch Anlagen zur Stromerzeugung mit einer Feuerungswärmeleistung > 2 MW eine Nachhaltigkeitszertifizierung benötigen. Achtung: Dabei handelt es sich um eine EEG-Vergütungsvoraussetzung! Für Anlagen mit IBN bis Ende 2020 ist keine zusätzliche THG-Bilanz vorgeschrieben, bei späteren IBN schon. In der THG-Bilanz muss nachgewiesen werden, dass stromseitig mindestens 70 % (Anlagen mit IBN von 2021 bis

Ende 2025) oder 80 % (Anlagen mit IBN ab 2026) der THG-Emissionen verglichen mit einem fossilen Referenzwert eingespart wird. Dabei ist die IBN nach BioSt-NachV als „Zeitpunkt der Inbetriebnahme einer Anlage [...] der erstmaligen physischen Produktion von Strom aus Biomasse-Brennstoffen“ definiert, so dass Bestandsanlagen, die in Förderperiode 2 wechseln, nicht betroffen sind.

Für die THG-Bilanz im Strommarkt gelten folgende Werte:

Tabelle 16: Standardwerte kg CO₂/MJ im Strommarkt nach RED II

| | Bioabfall | Gülle | Mais |
|---------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Anbau | 0 | 0 | 15,2 |
| Verarbeitung | 8,3 | 5,9 | 7,2 |
| Nutzung des Brennstoffs | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| Transport | 0,5 | 0,8 | 0 |
| Gutschrift | 0 | -97,6 | 0 |
| Gesamtstandardwert | 21,3 | -78,4 | 34,9 |

Zur Veranschaulichung folgt ein Rechenbeispiel, das eine NawaRo-Anlage mit 100 % Silomaiseinsatz mit der gleichen Anlage bei veränderten Einsatzstoffen vergleicht. Die Anlage mit Koppelprodukten setzt energetisch gesehen 50 % Silomais, 25 % Mist und 25 % Stroh ein.

Als Basis dient eine Anlage mit 500 kW Bemessungsleistung, einer externen Wärmeverwertung von 50 % und einem elektrischen und thermischen Wirkungsgrad von jeweils 40 %.

Es ergeben sich Einsparpotenziale von 59 % bzw. 96 % allein im Strombereich. Die Anlage mit 100 % Silomais bringt dabei keine ausreichende THG-Minderung mit, um die Auflagen der BioSt-NachV zu erfüllen. Werden nun in der gleichen Anlage anteilig Koppelprodukte eingesetzt, kann die geforderte Minderung problemlos eingehalten werden.

Tabelle 17: Beispielhafte THG-Berechnung (Datenquelle: THG-Rechner, Fachverband Biogas)

| | Standardvergleichswert | BGA mit 100 % Silomais | BGA mit 50 % Silomais, 25 % Mist, 25 % Stroh |
|-------------------------|-----------------------------|---|---|
| THG-Emission Strom | 659 gCO _{2eq} /kWh | 268 gCO _{2eq} /kWh | 25 gCO _{2eq} /kWh |
| Einsparung Strom | | 391 gCO _{2eq} /kWh \triangleq 59 % | 634 gCO _{2eq} /kWh \triangleq 96 % |
| THG-Emission Wärme | 288 gCO _{2eq} /kWh | 47 gCO _{2eq} /kWh | 4 gCO _{2eq} /kWh |
| Einsparung Wärme | | 241 gCO _{2eq} /kWh | 284 gCO _{2eq} /kWh |
| Gesamteinsparung | | 2.240 t CO_{2eq}/a | 3.398 t CO_{2eq}/a |



Weiterführende Literatur:

Biomethan als Kraftstoff und Treibhausgas(THG)zertifizierung, Teil 1-3, Biogas Forum Bayern e.V.

4.4 Akzeptanz



Dieses Kapitel beschreibt das Akzeptanzverhalten bezüglich der unterschiedlichen Koppelprodukte. Auf eine allgemeine Definition von Akzeptanz, insbesondere im Bereich der Erneuerbaren Energien, wurde bewusst verzichtet.



Das sagen...

*... **Betreibende von Biogasanlagen***

„Der Einsatz von Reststoffen löst bei mir ein Wohlgefühl aus, weil alles verwertet werden kann.“

„Die Akzeptanz der Anwohner ist beim Umstieg der Substrate hin zu Reststoffen gestiegen.“



Das sagen...

... substratliefernde und gärproduktabnehmende Betriebe

„Durch die Zusammenarbeit mit der Biogasanlage durch Substratlieferung und Gärproduktabnahme lassen sich Erträge steigern und die Bodenfruchtbarkeit erhöhen.“

„Der Betreiber der Biogasanlage schlegelt Maisstroh und transportiert das Material selbst ab. Dadurch fällt keine Arbeit an.“

„Durch die Substratlieferung und Gärproduktabnahme wird die Kreislaufwirtschaft unterstützt und es ist ökologisch und ökonomisch sinnvoll.“

4.4.1 Akzeptanz in der Landwirtschaft steigern

Im Rahmen des Projekts wurden landwirtschaftliche Betriebe befragt, wie Sie den Einsatz verschiedener Koppelprodukte als Biogassubstrat bewerten. Die detaillierten Ergebnisse sind auf der Homepage von C.A.R.M.E.N. e.V. zu finden.

Aus der Umfrage geht hervor, dass sich die Meinungen bezüglich der Substrate stark unterscheiden. So wird der Einsatz von Mist und Landschaftspflegegras weitaus positiver bewertet als der von Mais- und Getreidestroh. Grund dafür ist die Sorge um den Humusabbau. Hier gilt es, Überzeugungsarbeit zu leisten. Durch eine Vielzahl von Untersuchungen wurde bestätigt, dass eine Abfuhr mit anschließender Gärproduktrückführung keinen negativen Effekt auf die Humusbilanz zur Folge hat, sondern sogar die Verfügbarkeit der Nährstoffe verbessert wird.

4.4.2 Akzeptanz bei den Naturschutzverbänden

Es kann davon ausgegangen werden, dass Naturschutzverbände eine positive Einstellung gegenüber Biogasanlagen, die Koppelprodukte einsetzen, haben. Deshalb empfiehlt es sich, mit örtlichen Naturschutzverbänden proaktiv über das Thema zu

Des Weiteren ist Getreidestroh in einigen Regionen Mangelware, wird aber dringend für die Tierhaltung als Einstreu oder auch als rohfaserreiches Grundfutter benötigt. Schließlich nimmt auch das Interesse anderer Branchen wie z. B. der Bauindustrie für die Nutzung als nachhaltigen Dämmstoff zu, wodurch ein Konkurrenzmarkt entsteht, der zu einem teils hohen Marktpreis führt. Im Gegensatz dazu haben Mist und Landschaftspflegegras in der Regel außerhalb der Biogasbranche keinen Marktwert.

Wie die Akzeptanz bei der Beschaffung von Koppelprodukten in der Landwirtschaft generell gesteigert bzw. möglicherweise vorherrschenden Vorurteilen entgegengetreten werden kann, ist in Kapitel 4.1.2 im Rahmen einer Argumentationshilfe zu finden.

sprechen und für die damit einhergehenden Vorteile Bewusstsein zu schaffen. Sofern diese Landschaftspflege- oder Naturschutzflächen bewirtschaften, kann eine für beide Seiten gewinnbringende Zusammenarbeit entstehen.

Das sagt...

... die Öffentlichkeit

„Ich bin ein großer Verfechter von „eh da“-Substraten wie Landschaftspflegematerial, Mist/Gülle, Abfallstoffe (Lebensmittelindustrie). [...] Biogas gehört zu den Energielieferanten, die durch ihre Gasspeichermöglichkeiten flexibel und nach Bedarf Strom erzeugen können.“

„Ich würde mir mehr Anlagen wünschen, die auf den Einsatz langfaseriger oder ligninhaltiger Materialien ausgelegt wären.“



4.4.3 Akzeptanz in der Bevölkerung

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die Bevölkerung dem Einsatz von Koppelprodukten positiv gegenüber steht, was auch die Auswertung einer Umfrage aus dem Projekt zeigt, s. Abbildung 32.

Daher empfiehlt es sich, dies in Gesprächen, durch Plakate oder ggf. auf der eigenen Homepage proaktiv anzusprechen und die Vorteile des Einsatzes solcher Substrate zu vermitteln. Sehr präsent ist oft die sog. „Teller-Tank-Diskussion“, der man mit dem Einsatz von nicht eigens für die energetische Nutzung an-

gebauter Biomasse vorbeugt. Natürlich gibt es auch schlagkräftige Argumente für den Einsatz von Energiepflanzen in der Biogasanlage, mit denen man einer solchen Diskussion begegnen kann, aber dennoch kommt diese Fragestellung beim Einsatz von Koppelprodukten erst gar nicht auf. Zudem werden dabei Fragen zum Thema Monokulturen für die Nutzung in der Biogasanlage vorgebeugt.

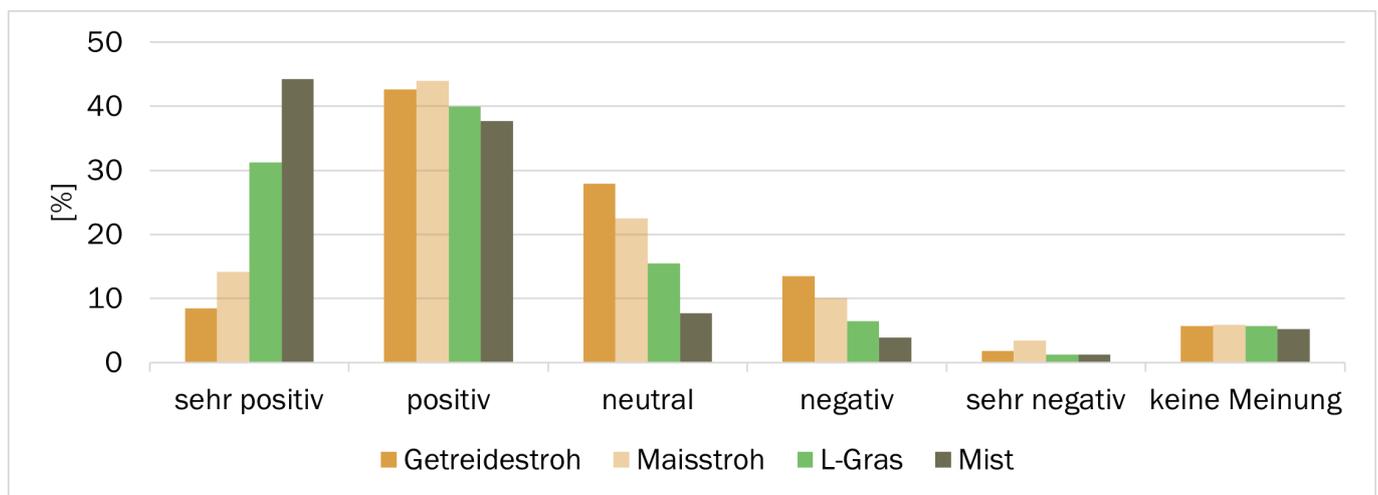


Abb. 32: Sichtweise der Bevölkerung zum Einsatz verschiedener Substrate

Weiterführende Literatur:

Akzeptanz für Erneuerbare Energien, C.A.R.M.E.N. e.V.

5. Schlusswort

Allgemein kann zusammengefasst werden, dass Biogasanlagen bereits einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Werden zusätzlich Koppelprodukte eingesetzt, erhöht sich dieser Beitrag, da der Anbau und die damit einhergehenden Emissionen entfallen.

Für Biogasanlagenbetreibende stellt sich die Frage, welche Koppelprodukte verwendet werden sollen: In Viehhaltungsregionen ist an Festmist zu denken. Dieser ist auch transportwürdiger als flüssige Gülle. In Gebieten, in denen Körnermais angebaut wird, macht der Einsatz von Körnermaisstroh Sinn, aber gleichzeitig auch viel Arbeit beim Bergen. Getreidestroh wäre aufgrund des hohen Potenzials ein interessantes Substrat, allerdings erscheint hier der Markt eher kurios: Es gibt zwar viel Potenzial, wenn es jedoch für Biogas geborgen werden soll, entstehen

hohe Preise mit dem Verweis darauf, dass Stroh auch anderweitig veräußert werden könnte. Derzeit macht es den Eindruck, dass Getreidestroh nur dann sinnvoll einsetzbar ist, wenn es etwa als Überpartie beim allgemeinen Strohhandel anfällt. Betrachtet man die übrigen Regionen ohne Viehhaltung, kommt dort nur Landschaftspflegegras in Frage. Aufgrund der schwereren Vergärbarkeit zeichnet sich die Notwendigkeit ab, dass für die Abgabe davon ein Entgelt entrichtet werden muss, um die höheren Aufwendungen in der Biogasanlage zu kompensieren. Derartiges kennt man etwa auch von Stromüberschüssen, die zu negativen Strompreisen an der Börse führen. Wenn also die regionalen und individuellen Voraussetzungen gegeben sind, können Koppelprodukte auch die Wirtschaftlichkeit einer Anlage verbessern.



Technologisch hat man im LaRA-Projekt gesehen, dass die untersuchten Biogasanlagen mit faserhaltigen Koppelprodukten zurechtkamen. Deren Anteil lag bei 20 % und teils deutlich darüber. Allerdings ist darauf zu achten, dass die Fließfähigkeit und die Gaserträge durch Eigenschaften der Koppelprodukte stark beeinflusst werden. Die Anforderungen an die Anlagentechnik und die Prozessführung steigen damit.

Wie Vieles im Biogasleben, so muss auch der Einsatz faserhaltiger Koppelprodukte sorgsam geplant werden. Alle Arbeitsabläufe auf der Biogasanlage sind zu überdenken, die Möglichkeiten und Grenzen der Anlagentechnik sind zu erfassen. Selbstredend dürfen nur genehmigte Substrate und Anlagenteile verwendet werden.

Manche Berufskolleginnen und -kollegen in der Landwirtschaft müssen noch davon überzeugt werden, dass es für beide Seiten eine gute Sache ist, ihre Koppelprodukte an Biogasanlagen zu geben und das Gärprodukt zurück zu nehmen. Andere wissen bereits um die Vorteile. Dagegen sieht die Bevölkerung den Einsatz derartiger Koppelprodukte weitgehend positiv.

Im LaRA-Projekt konnten viele Aspekte der Nutzung von Koppelprodukten herausgearbeitet werden. Darüber hinaus besteht natürlich weiterer Forschungsbedarf.

Ausblick

Es zeichnet sich der Trend ab, dass der Einsatz faserhaltiger Koppelprodukte gesellschaftlich immer mehr gewollt und auch umgesetzt wird. Dieser wird flankiert von vielen rechtlichen Rahmenbedingungen, die den Einsatz forcieren (Maisdeckel, WiDü-Förderung, RED II). Dabei gibt es die Ansätze, nicht nur Biogas zu erzeugen, sondern auch die Fasern rohstofflich zu nutzen. Einerseits denkt man z. B. an die Herstellung von Pyrolysekohle und andererseits kann hochreines Lignin abgetrennt werden.

Bzgl. des Abfallrechts ist es notwendig, dass die Koppelprodukteeigenschaft anerkannt wird bzw. bleibt. An die Hersteller in der Biogascommunity besteht natürlich der Wunsch, dass bald nachrüstbare und kostengünstigere Aufschlusstechnik angeboten wird. Für die Bergung von Körnermaisstroh wäre es von großem Vorteil, wenn ein einphasiges Verfahren ohne Schwadablage zur Verfügung stünde. Es bleiben also einige Thematiken wie auch Zukunftswünsche offen, die zusammen Schritt für Schritt angegangen werden können. In der Biogasbranche ist ein großer Zusammenhalt spürbar, mit dem viel erreicht und sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen der aktuellen Zeit gemeistert werden können.

6. Anhang

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Farbleitsystem | 7 |
| Abb. 2: Aufteilung des ungenutzten Potenzials nach Koppelprodukten | 11 |
| Abb. 3: Hakenliftcontainer | 17 |
| Abb. 4: Hakenlift-Transportsystem | 17 |
| Abb. 5: Festmistlagerung Siloplatte | 18 |
| Abb. 6: Festmistlagerung Lagerhalle | 18 |
| Abb. 7: Lagerhalle für Festmist | 18 |
| Abb. 8: Feststoffeintrag | 18 |
| Abb. 9: Ernteverfahren zur Bergung von Körnermaisstroh, nach Thurner, Woortman, LfL | 20 |
| Abb. 10: Aufteilung der Erträge bei der Maisstrohernte | 20 |
| Abb. 11: Partikel von Festmist | 23 |
| Abb. 12: Partikel von Getreidestroh | 24 |
| Abb. 13: Partikel von Landschaftspflegegras | 25 |
| Abb. 14: Lignocellulosegehalte in Koppelprodukten und Maissilage | 25 |
| Abb. 15: Schwimmschicht im Fermenter | 26 |
| Abb. 16: Benötigte Menge an Koppelprodukt, um die Methanproduktion aus 1 t Mais zu ersetzen | 27 |
| Abb. 17: Kumulierter Strombedarf der Fermenterhauptverbraucher einer Praxisanlage | 30 |
| Abb. 18: Täglicher Leistungsbezug der Fermenterhauptverbraucher (Praxisanlage) | 30 |
| Abb. 19: Feststoffeinbringung einer LaRA-Biogasanlage | 31 |
| Abb. 20: Substratverteilerpumpe einer LaRA-Biogasanlage | 31 |
| Abb. 21: Rühraufwand im Vergleich zur Gärtemperatur (Praxisanlage) | 32 |
| Abb. 22: Schwefel aus einer Biogasanlage | 33 |
| Abb. 23: Mittlere Schwefelgehalte in der Frischmasse von Koppelprodukten und Energiepflanzen | 33 |
| Abb. 24: Mechanischer Voraufschluss | 38 |
| Abb. 25: Langsamläufer | 39 |
| Abb. 26: Schnellläufer | 39 |
| Abb. 27: Substratverteilerpumpe | 41 |
| Abb. 28: Einbringtechnik | 42 |
| Abb. 29: Fermenternahe Feststoffeinbringung | 42 |
| Abb. 30: Struktur der Wirtschaftlichkeitsberechnung | 44 |
| Abb. 31: Stromgestehungskosten nach Koppelprodukten | 46 |
| Abb. 32: Sichtweise der Bevölkerung zum Einsatz verschiedener Substrate | 54 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Kennzahlen im Vergleich | 9 |
| Tabelle 2: Beispielhafte Kostenansätze | 12 |
| Tabelle 3: Faktencheck - Beschaffung von Koppelprodukten | 13 |
| Tabelle 4: Argumente für die Lieferung von Koppelprodukten | 14 |
| Tabelle 5: Betroffene Rechtsbereiche | 15 |
| Tabelle 6: Checkliste – Prüfen der Ausgangssituation | 34 |
| Tabelle 7: Schwachstellenanalyse – das Rührsystem | 37 |
| Tabelle 8: Schwachstellenanalyse – das Heizkonzept | 39 |
| Tabelle 9: Schwachstellenanalyse – die Substratförderung | 41 |
| Tabelle 10: Schwachstellenanalyse – die Substrateinbringung | 41 |
| Tabelle 11: Schwachstellenanalyse – Schwefelwasserstoff | 42 |
| Tabelle 12: Überblick Boni im EEG | 47 |
| Tabelle 13: Ermittlung der Kenngrößen für die eigene Anlage | 48 |
| Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit der Vergleichsszenarien | 49 |
| Tabelle 15: Standardwerte kg CO ₂ /MJ im Kraftstoffmarkt nach RED II | 50 |
| Tabelle 16: Standardwerte kg CO ₂ /MJ im Strommarkt nach RED II | 51 |
| Tabelle 17: Beispielhafte THG-Berechnung (Datenquelle: THG-Rechner, Fachverband Biogas) | 52 |

Verzeichnis wichtiger fachspezifischer Abkürzungen

| | |
|-----------------|--|
| AV | Arbeitsvolumen |
| BGA | Biogasanlage |
| BImSchG | Bundesimmissionsschutzgesetz |
| BioSt-NachV | Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung |
| C | Kohlenstoff |
| CH ₄ | Methan |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz |
| EVK | Einsatzstoffvergütungsklasse |
| FM | Frischmasse |
| FOS | Flüchtige organische Säuren |
| GPS | Ganzpflanzensilage |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| IBN | Inbetriebnahme(datum) |
| KULAP | Kulturlandschaftsprogramm |
| Lapf | Landschaftspflegegras |
| LaRA | Landwirtschaftliche Rest- und Abfallstoffe |
| LKW | Lastkraftwagen |
| N | Stickstoff |
| NawaRo | Nachwachsende Rohstoffe |
| NH ₄ | Ammonium |
| oTS | organische Trockensubstanz |
| RED II/III | Renewable Energy Directive II/III |
| S | Schwefel |
| TAC | Anorganisches Carbonat |
| THG | Treibhausgas |
| TierNebV | Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsverordnung |
| TS | Trockensubstanz |
| WiDü | Wirtschaftsdünger |

Technische Hochschule Ingolstadt
Institut für neue Energie-Systeme (InES)
Esplanade 10
85049 Ingolstadt
E-Mail: InES@thi.de

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam
E-Mail: atb@atb-potsdam.de

C.A.R.M.E.N. e.V.
Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk
Schulgasse 18
94315 Straubing
E-Mail: contact@carmen-ev.de