

## 1 Einleitung

In Reaktion auf Veröffentlichungen und Mahnungen des im Deutschen oft als Weltklimarat bezeichneten Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) unternimmt die Bundesregierung Anstrengungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen auf nationaler Ebene. Eines der wichtigsten Instrumente im Interesse dieses Klima- und Umweltschutzes ist im Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (kurz Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG) zu sehen, dessen elementare Ziele sich wie folgt zusammenfassen lassen [69]:

- Förderung einer nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung,
- Verringerung der volkswirtschaftlichen Kosten auf lange Frist und
- Schonung fossiler Energieträger und Förderung der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien.

Zusätzlich werden auch konkrete Ziele definiert, u.a. bis zum Jahr 2020 mind. 18 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu decken.

Unter den "Regenerativen" spielt die Erzeugung von Energie aus Biomasse eine besondere Rolle, da sie neben der Wasserkraft die einzige ist, die witterungsunabhängig Energie liefern und sogar systemintern speichern kann. Somit können Schwankungen, die bei der Energiebereitstellung durch Sonnen- und Windkraft auftreten, ausgeglichen und ebenso jene beim Energiebedarf abgefangen werden. Die Nutzung von Biomasse kann durch verschiedene Verfahren erfolgen. Die Energieumwandlung der in der Biomasse gespeicherten chemischen Energie wird dabei durch verschiedene chemische, physikalische oder biologische Prozesse ermöglicht [110].

Bei der Methangärung nachwachsender Rohstoffe (NawaRo), landwirtschaftlicher Abprodukte sowie organischer Abfälle, als eine Möglichkeit der Umwandlung von Energie aus Biomasse, werden chemische (Hydrolyse) und biologische (Methanbildung) Vorgänge gekoppelt. Erste Schritte zur energetischen Nutzung dieses natürlichen Abbauprozesses wurden Mitte des 20. Jahrhunderts unternommen. Spätestens seit Mitte der Neunziger Jahre kann die Vergärung als etabliertes Verfahren und Stand der Technik angesehen werden. Das Verfahren der Feststoff- oder Trockenvergärung konnte sich zunächst allerdings nur im Bereich der kommunalen Bio- oder Restabfallbehandlung als Bestandteil einer sehr variablen Behandlungskette etablieren.

Mit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 rückte aufgrund starker Anreize beim Einsatz von NawaRo sowie einer Innovationsförderung die Errichtung von Feststofffermentationsanlagen auch im landwirtschaftlichen Bereich ins Blickfeld. Heute, drei Novellierungen später gibt es angesichts der geltenden politischen Rahmenbedingungen in diesem Bereich keine Zuwächse mehr. Der Anlagenzuzubau ist vielmehr gedeckelt (auch für nassfermentative Biogasanlagen) und praktisch auf den Bereich Abfall- und Reststoffe begrenzt. Die Forschungsaktivitäten richten ihren Fokus deshalb verstärkt auf Substrate dieser Kategorie.

Die meisten wissenschaftlichen Erhebungen zur Feststofffermentation in den letzten 15 Jahren stammen aus dem Zeitraum der Innovationsförderung durch das EEG 2004 - 2009 und beziehen sich damit auf eine Zeit, in der NawaRo die mehrheitlich eingesetzten Substrate waren. Die Ergebnisse lassen sich heute gewinnbringend für die Vergärung von landwirtschaftlichen Abprodukten und biologischen Abfällen nutzen.

Prinzipiell ist ein stabil verlaufender, anaerober Abbauprozess durch die gesicherte Umsetzung vom eingesetzten Substrat gekennzeichnet, die im Rahmen des gewählten Verfahrens zu reproduzierbaren Gaserträgen führt. Im Idealfall ist diese Substratverfügbarkeit zudem durch eine optimale Substratausnutzung gekennzeichnet. Das setzt voraus, dass die Milieubedingungen (Wassergehalt, Temperatur, hemmungsfreie Umgebung) für anaerobe Mikroorganismen konstant im Optimum gehalten werden können. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Mediums (Flüssigphase oder Festbett) übernehmen hierbei die Aufgabe, die anvisierten Bedingungen aufrechtzuerhalten. Sollte dies nicht möglich sein, kann die alleinige Beeinflussung der Biologie den anaeroben Abbau nicht sichern. Damit ergeben sich hinsichtlich der verfahrenstechnischen Optimierung drei relevante Betrachtungsfelder:

1. biologische Verfügbarkeit der Substrate,
2. biologische Einflussfaktoren auf die komplexe und symbiotisch lebende Biozönose, bspw. Konzentrationen hemmend wirkender Intermediate und/oder Mikronährstoffversorgung sowie
3. physikalische Zustandsbedingungen im System und ggf. deren Änderung im Verlauf.

Während die ersten beiden Punkte für alle Verfahren der Anaerobtechnik nahezu identisch sind, bestehen hinsichtlich des physikalischen Zustandes Unterschiede. Im Falle der Flüssigvergärung liegt in den Submersreaktoren (Rührkessel respektive CSTR) idealerweise eine homogen durchmischte Suspension vor, in der an jedem Punkt der Kulturbrühe adäquate Bedingungen herrschen, die es zu optimieren gilt. Physikalisch gestört wird dies bspw. durch die Bildung von Schwimmdecken (Ausgasungsproblematik) oder Sinkschichten (Volumenreduzierung des Reaktionsraumes). Diese Ausprägungen können als suboptimaler Anlagenbetrieb gewertet werden, verursacht durch unsachgemäße Substratzufuhr oder -aufbereitung.

Bezüglich der Feststoffvergärung liegen anlagenseitig divergierende Ansätze vor. Neben kontinuierlich betriebener Pfropfenstromverfahren (horizontal oder vertikal) existiert eine Reihe von Anlagen im diskontinuierlichen Betrieb. Allen gemein ist eine hohe Raum-Zeitausbeute. Da Durchmischungsaggregate zur Homogenisierung adäquat der Nassvergärung nur in seltenen Fällen eingesetzt werden, dient häufig die Beaufschlagung der Substratmatrix mit Prozessflüssigkeit, dem sogenannten Perkolat, als dynamisches Element, welches mikrobielle Aktivitäten unterstützt. Physikalisch kritisch ist demzufolge eine ungleich verteilte Durchströmung, bspw. durch Kanalbildung, oder das Verschließen von

Porenräumen durch Transportprozesse respektive Auflast anzusehen. Parameter die in diesem Zusammenhang die Zustandsform im Fermenter hinreichend beschreiben, sind themenbezogen bis dato noch nicht erhoben worden. Der Mangel an diesbezüglichem Wissen erschwert den Praxiseinsatz.

Potential kann der Feststoffvergärung bei Verwendung nicht pumpfähiger, dafür aber stapelbarer Substrate zugesprochen werden. Speziell für organische Abfälle zeichnet sich das System dadurch aus, dass Störstoffe nicht zwingend ausgeschleust werden müssen. Ebenso für landwirtschaftliche Betriebe ohne Tierhaltung respektive mit Tierhaltung nach den Grundsätzen des ökologischen Landbaus oder in Festmistwirtschaft können die Verfahren als Alternative zur Nassvergärung gesehen werden. Ein geringerer technischer Aufwand sowie die oftmals modulare Bauweise mit hoher Anpassungsfähigkeit, sind als Vorteil zu werten. Allerdings verlangen Trockenfermentationsanlagen - egal welche Bauweise - höhere Investitionen. Aus diesen Gründen sind Effizienz und Störungsfreiheit zwingend zu gewährleisten und Möglichkeiten zur Optimierung der Prozessführung auszuschöpfen [93, 220, 238].