

## Optimierung der Biogasfermentation durch energetisch verbesserte Substratzerkleinerung und optimierte Biomasserückhaltung

– Anschluss zu AiF 14948 N –

<b>Koordinierung:</b>	Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn
<b>Forschungsstelle:</b>	Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW Lehrstuhl für Verfahrenstechnik disperser Systeme Prof. Dr. Petra Först (kommissarisch)/Dipl.-Ing. Benjamin Haeffner
<b>Industriegruppen:</b>	Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e. V., Berlin Verband Deutscher Mühlen e. V., Bonn
	Projektkoordinator: Dr. Erika Hinzmann Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö), Berlin
<b>Laufzeit:</b>	2011 – 2014
<b>Zuwendungssumme:</b>	€ 255.900,-- (Förderung durch BMWi via AiF/FEI)

### Ausgangssituation:

Für lebensmittelverarbeitende Unternehmen wird es immer schwieriger, Reststoffe kostenneutral und ordnungsgemäß zu entsorgen. Eine gesicherte Entsorgung mit Preisstabilität und Reststoffabnahme kann aufgrund der geänderten Gesetzeslage nicht mehr immer gewährleistet werden. Die anaerobe Vergärung ist hierfür ideal, sie wird heute schon bei vielen Unternehmen für die Abwasseraufbereitung genutzt und sorgt dort für eine erhebliche Kostenreduzierung.

In der Landwirtschaft wird im einstufigen Verfahren bereits Biogas hergestellt. Durch die anaerobe Fermentation von Lebensmittelreststoffen kann aber nicht nur Biogas hergestellt und energetisch genutzt werden, sondern es wird auch eine Massen- und Volumenreduzierung erreicht. Der Abbau der geruchsintensiven Stoffe findet im Fermentationsprozess statt, wobei die Nährstoffe als Düngemittel weitgehend erhalten bleiben. Ein natürlicher Kreislauf wird somit beibehalten, weil der Gärrest als Düngemittel wieder zurück auf die Felder gebracht werden kann. Hürden für eine Prozessoptimierung sind zum einen die Substrateigenschaften (Schutzmatrix Lignin), der Biomasserück-

halt mithilfe von Füllkörpern und der eigentliche Biogasprozess.

Bei Lebensmittelreststoffen handelt es sich um zum Teil schwer abbaubare Substrate, die einen hohen Anteil an Strukturmaterialien (Cellulose, Lignin) besitzen. Diese Schutzmatrix erschwert es Mikroorganismen, die Nährstoffe abzubauen, was eine langsame Hydrolyse zur Folge hat. Die Hydrolyse der Feststoffe ist als geschwindigkeitsbestimmender Schritt anzusehen, welcher einen großen Einfluss auf den Gesamtprozess und die Wirtschaftlichkeit hat. Beim Biogasprozess ist die Verweilzeit die ausschlaggebende Größe, welche bei gleichbleibendem Abbaugrad und aufrecht erhaltener Mikroorganismenkonzentration verkürzt werden soll. Für die Energieeffizienz dieser Verfahren sind die Leistungen der Vergärungsstufen, die Höhe der Verfügbarkeit der anaerob abzubauenden organischen Substanzen und der spezifische Energiebedarf der Zerkleinerungsverfahren maßgeblich.

Im Rahmen des IGF-Vorhabens AiF 14948 N wurden bereits umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, um ein Konzept zur Biogasgewinnung aus Reststoffen der Lebensmittelindustrie zu etablieren. Hierbei konnte nachgewiesen werden, dass sich die Zerkleinerung positiv auf den

Biogasprozess auswirkt. Aufbauend auf diese Ergebnissen sollten im Rahmen des vorliegenden Vorhabens die Optimierungsstrategien des Vorprojektes aufgegriffen und der Prozess noch wirtschaftlicher gestaltet werden. Die Effizienz der Biogasanlage sollte verbessert werden, die Bioverfügbarkeit durch Zerkleinern erhöht und das mehrstufige Fermentationsverfahren in ein Festbettverfahren umgebaut werden. Ziel war es, die aufzuwendende Zerkleinerungsenergie weiter zu reduzieren und den Einfluss der zerkleinerten, kleineren Partikel zu erforschen. Durch neue Verfahren sollte die mittlere hydraulische Verweilzeit auf unter 15 Tagen verringert werden.

#### Forschungsergebnis:

Das Forschungsvorhaben war in zwei Unit-Operations eingeteilt, die Zerkleinerung und die Fermentation; aus diesen zwei Verfahren wurden die einzelnen Arbeitspakete generiert. Die im Antrag formulierten Forschungsziele wurden erreicht. Bei der Zerkleinerung konnte durch optimale Betriebsparameter der Energieeintrag um ca. 50 % verringert werden. Das beste Zerkleinerungsergebnis wurde mit einem Trockensubstanzgehalt (TS) von 11,6 % mit einer Energie von 2.200 kJ/(kg oTS) und einem  $X_{50,3} = 25 \mu\text{m}$  erreicht. Durch die Vorhydrolyse konnte eine weitere Energiereduktion um 10 % erzielt werden, wobei der TS-Gehalt des Zerkleinerungsguts einen großen Einfluss hatte. Die Vorteile der Zerkleinerung, ein Biogasmehrertrag sowie ein besserer Abbaugrad gegenüber dem nicht zerkleinerten Treber, konnten in den Versuchen bestätigt werden. Eine erhöhte Methangasproduktion (Treber fein) von bis zu 30 % konnte jedoch nur in den Versuchsreihen des vorhydrolysierten Trebersubstrats festgestellt werden. Die Gesamtraumbelastung betrug hier  $B_R = 18 \text{ (kg oTS)/(m}^3\cdot\text{d)}$ , lag also um den Faktor 9 höher als die durchschnittliche Raumbelastung von Biogasanlagen. Dies zeigt, dass bei den Versuchen ohne Vorfermentation ein ähnliches Verhalten zu erwarten ist, wenn die anfängliche Hemmung der Methanogenese durch eine Prozessstrennung in einen zweiphasigen Prozess oder mit geringerer Raumbelastung umgangen wird. Die mehrstufige Festbetтанlage eröffnet die Möglichkeit, die Vorteile der Zerkleinerung weiter auszuschöpfen. Die Anlage wurde mit einer Gesamtraumbelastung von  $B_R = 2,1 \text{ (kg oTS)/(m}^3\cdot\text{d)}$  und einer mittleren hydraulischen Gesamtverweilzeit von 10 Tagen bei stabilen Prozessbedingungen

betrieben. Nach DAHLHOFF liegt die durchschnittliche Faulraumbelastung bei  $B_R = 2,23 \text{ (kg oTS)/(m}^3\cdot\text{d)}$ , diese liegt im Bereich der aktuellen Betriebsparameter der Anlage. Hierbei wurden Biogaserträge im Bereich von 350 - 450 NI/(kg oTS) gemessen. Damit wurde das Projektziel, eine Verweilzeitverkürzung von unter 15 Tagen zu erreichen, deutlich unterschritten. Versuchsreihen mit einem höheren TS-Gehalt waren durch die lange Anlaufphase und die Ermittlung der optimalen Betriebsparameter im Rahmen dieses Projektes nicht mehr möglich. Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses stellt sich durch die vielen Einflussfaktoren als schwierig da. Fest steht, dass der Biogasmehrertrag allein nicht den Aufwand der Zerkleinerungsenergie rechtfertigt. Hierzu sind weitere Faktoren, z.B. Anschaffungskosten der Mühle, laufende Kosten, geringere Investitionskosten, geringere Fixkosten der Fermenter, Einsparungen an Rührenergie, bessere Durchmischung, höhere Raumbelastung usw., mitzubetrachten.

#### Wirtschaftliche Bedeutung:

Die Anzahl der Biogasanlagen nimmt in den letzten Jahren immer weiter zu. 2013 wurden insgesamt 7.800 Anlagen in Deutschland betrieben, und zwar größtenteils im einstufigen Prozess. Eine Reststoffverwertung zu Biogas ist für die im Fokus des Vorhabens stehenden Substrate noch sehr neu und beschränkt sich fast ausschließlich auf Abwasser. Die Einführung eines mehrstufigen Verfahrens mit immobilisierter Biozönose ist für Biertreber bislang nicht im Einsatz und stellt einen völlig neuen Ansatz für dieses Substrat dar. Firmen im Bereich Lebensmittelreststoffverwertung, Getreideverarbeitung sowie Mälzereien und Brauereien haben die Möglichkeit, hierdurch ihre organischen Abfälle effizient in Energie umzuwandeln und gleichzeitig ihre Entsorgungskosten zu minimieren.

Allein in Deutschland werden zurzeit etwa 94 Mio. hl Bier pro Jahr produziert. Die Brauwirtschaft zeichnet sich dabei vorwiegend durch kleine und mittelständische Unternehmen aus. Im Jahr 2013 gab es rund 1.350 Brauereien, von denen 90 % einen Jahresausstoß von weniger als 100.000 hl/a produzierten. Gerade kleinere Unternehmen haben bezüglich Primärenergie, Entsorgungskosten und Personalaufwand eine ungünstigere Kostenstruktur gegenüber Großbetrieben. Um diese Situation zu



verbessern, ist die Ausrichtung auf günstigere und stabile Energiekosten wichtig, da diese neben den Personalkosten den größten Anteil an den Produktionskosten ausmachen.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Optimierung der Fermentation der in den Trebern zu hohen Anteilen vorhandenen, schwer abbaubaren Stoffen. Die Zerkleinerung bewirkt eine Erhöhung der Bioverfügbarkeit. Dadurch konnte aus dem Substrat ein deutlich höherer Biogasertrag bzw. Methangasertrag (von bis zu 30 %) gewonnen und die Fettsäurebildung sowie deren Abbaugrad bei gleichen Versuchsbedingungen erzielt werden. Des Weiteren wurden die Versuche bei hohen Gesamtraumbelastungen von  $Br$  18 kg oTS/(m<sup>3</sup>\*d) durchgeführt, die damit um den Faktor 9 höher lagen als die der gängigen Biogasanlagen. In Brauereien mit geringem verfügbarem Platz können somit Biogasanlagen mit kleineren Fermentern installiert werden, die wiederum auch geringere Investitionskosten für die Unternehmen nach sich ziehen.

Die Ergebnisse können sowohl im breitgefächerten Bereich der regenerativen Energieerzeugung als auch in anderen Branchen der Lebensmittelindustrie oder der Abfalllogistik angewendet werden. Da die Verfahren auf alle Prozesse mit biologisch schwer abbaubaren Substanzen übertragbar sind, entstehen vor allem in der Abfalllogistik neue Einnahmequellen und es können längerfristig Arbeitsplätze geschaffen und gesichert werden. Hiervon profitieren insbesondere kleinere Unternehmen (KMU), die mit dem Transport der Reststoffe, der Installation, Wartung und der gesamtheitlichen Betreuung der Biogasanlagen beauftragt werden.

Gerade für KMU bietet sich die Nutzung alternativer Energiequellen an, die langfristig eine Abkopplung von Primärenergiequellen ermöglicht. Der Wettbewerbsvorteil für die Anwender liegt sowohl in der Beschaffung von Energie als auch in der Entsorgung. So könnte für mittlere und kleinere Brauereien ein großer Teil, im Idealfall weit über 30 %, der für die Produktion benötig-

ten Energie aus dem Reststoff Treber gewonnen werden.

#### Publikationen (Auswahl):

1. FEI-Schlussbericht 2014.
2. Haeffner, B., Sommer, K. und Först, P.: Lebensmittelreststoffe als Energielieferant - Einfluss der Zerkleinerung auf den Biogasertrag von Biertrebern. In: Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen (Teipel, U., Reller, A., eds.). Fraunhofer-Verl. 363-369 (2014).
3. Haeffner, B., Nied, C., Graf, M. und Sommer, K.: Influence of pre-fermentation on the grinding of spent grains. In: Proc. 13<sup>th</sup> Europ. Symp. Comm. Class. Brunswick/Germany (Kwade, A., ed.), 292-294 (2013).
4. Haeffner, B., Voigt, J. und Sommer, K.: Neue Verfahrensschritte und Ansätze zur Optimierung der anaeroben Fermentation aus Lebensmittelreststoffen. Chem. Ing. Tech. 84 (8), 1245 (2012).

#### Weiteres Informationsmaterial:

Technische Universität München  
Wissenschaftszentrum Weihenstephan WZW  
Lehrstuhl für Verfahrenstechnik  
dispenser Systeme  
Maximus-von-Imhof-Forum 2, 85354 Freising  
Tel.: +49 8161 71-3179  
Fax: +49 8161 71-4242  
E-Mail: [petra.foerst@tum.de](mailto:petra.foerst@tum.de)

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI)  
Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn  
Tel.: +49 228 3079699-0  
Fax: +49 228 3079699-9  
E-Mail: [fei@fei-bonn.de](mailto:fei@fei-bonn.de)

... ein Projekt der **Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)**

gefördert durch/via

