

Biogas aus den Reststoffen der Rübenzuckergewinnung

Rübenzuckerproduktion ohne Klimagasemissionen – ein Traum?

Helmut Kroiss (Wien/Österreich)

Zusammenfassung

Der Primärenergiebedarf der Rübenzuckerproduktion liegt zwischen unter 1,0 und über 1,5 kWh/kg Zucker. Diese Angaben hängen sowohl von der Produktionstechnologie, der eingesetzten Energieträger als auch von dem Berechnungsmodell des Energiebedarfs ab. Rohrzuckerherzeugung dagegen erfolgt weitgehend ohne Einsatz fossiler Energie.

Je kg Zucker fallen ca. 0,3 kg Trockenmasse an ausgelaugten Rübenschnitzeln an, was etwa 0,32 kg CSB oder einem Energieäquivalent von 1,3 kWh entspricht (15 kJ/g CSB). Ein wesentlicher Teil des Energiebedarfs der Zuckerproduktion kann durch anaeroben Abbau dieser Rübenschnitzel und die Nutzung des Biogases abgedeckt werden, wenn es gelingt, die Biogasproduktion stabil mit hohem Wirkungsgrad und synchron zur Rübenverarbeitung zu betreiben.

Dieses Konzept ist erstmalig bei der Zuckerfabrik Kaposvár der AGRANA GesmbH in Ungarn nach entsprechender Prozessentwicklung von Labor- über Pilotversuchen bis zum Großmaßstab erfolgreich umgesetzt worden. In der ersten Ausbaustufe der dortigen Biogasanlage (zwei Anaerobreaktoren mit je 12 000 m³, Normalbetrieb seit 2008) ist es gelungen mindestens 40 % des Erdgasbedarfs der Fabrik durch Biogas aus der Vergärung von etwa der Hälfte der anfallenden Pressschnitzel zu ersetzen. Die wesentlichen Charakteristika der Anaerobanlage sind: einstufiger mesophiler (38 °C) Faulprozess für Pressschnitzel mit ca. 22 % Trockensubstanz, Schlammalter mindestens 22 Tage. Die Anaerobanlage wurde inzwischen erweitert. Rübenzuckerproduktion ohne nennenswerten Einsatz fossiler Energie zu betreiben, erscheint möglich, dies jedoch ohne Klimagasemissionen zu erzielen, bleibt derzeit ein Traum, auch wenn technologisch erreichbar. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen hängt stark von spezifischen örtlichen und zeitbedingten Gegebenheiten ab.

Schlagwörter: Industrieabwässer, Prozessentwicklung, Reaktordesign, Betriebserfahrung, Praxis, Nährstoffbedarf, Wirtschaftlichkeit

DOI: 10.3242/kae2019.06.004

Abstract

Generating biogas from beet sugar production residues Is making beet sugar without greenhouse gas emissions a pipe dream?

Beet sugar production requires between 1.0 and more than 1.5 kWh primary energy for each kilograms of sugar. These figures depend on the production technology, energy source and calculation model used to depict energy demand. By contrast, cane sugar is manufactured largely without using fossil energy sources.

Roughly 0.3 kg of beet pulp dry mass is generated for each kilogram of sugar, corresponding to about 0.32 kg COD or an energy equivalent of 1.3 kWh (15 kJ/g COD). A significant proportion of the energy needed to produce sugar can be provided through the anaerobic decomposition of this beet pulp and the use of biogas if operators succeed in running stable biogas production with a high level of efficiency and in sync with beet processing.

This concept was successfully implemented for the first time at the Kaposvár sugar factory run by AGRANA GesmbH in Hungary after developing the process from laboratory and pilot testing to large-scale industrial production. In the first phase of expanding the biogas plant there (two anaerobic reactors each with 12,000 m³, in normal operations since 2008), at least 40% of natural gas needed by the factory was replaced by biogas from the digestion of about half of the pressed pulp generated. The anaerobic plant's main characteristics are as follows: a single-stage mesophilic (38 °C) digestion process for pressed pulp with about 22% dry matter; sludge aged for at least 22 days. This anaerobic plant has since been expanded.

Manufacturing beet sugar without using a significant amount of fossil energy appears possible, but doing so without producing greenhouse gas emissions remains a dream, even though it is technologically possible. These plants' efficiency hinges significantly on specific local and temporal conditions.

Key words: industrial effluent, process development, reactor design, operating experience, practice, nutrient requirements, efficiency

1 Einführung

Die Weltzuckerproduktion beträgt derzeit ca. 190 Millionen t/a. Davon werden ca. 40 Millionen t/a aus Zuckerrüben gewonnen, der Rest ist Rohrzucker. Etwa 10 % der Rübenzuckerherzeugung erfolgt in Deutschland. Der Zuckerkonsum liegt

in Mitteleuropa derzeit bei ca. 34 kg/Einwohner und Jahr. Der Energieinhalt des Zuckers beträgt ca. 4,6 kWh/kg bzw. bei $4,6 \cdot 34 = 156$ kWh/E/a was etwas weniger als 2 % der Energie in unserer Nahrung entspricht.

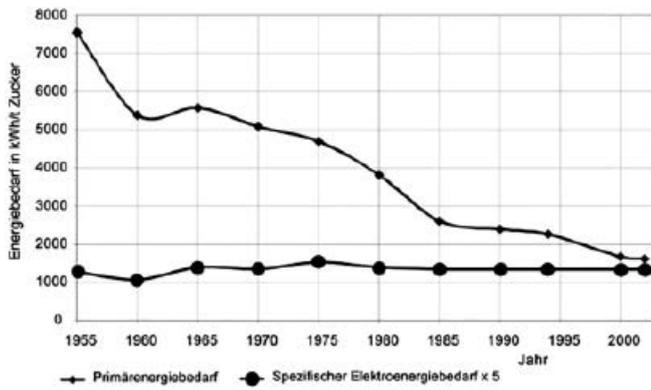


Abb. 1: Primärenergiebedarf der Rübenzuckerindustrie in Deutschland [2]

Der Gesamteinsatz an externer Energie für die Produktion von 1 kg Rübenzucker liegt je nach örtlichen Bedingungen bei 1,5 bis 2 kWh. Für die gesamte deutsche Zuckerindustrie wird für 2010 ein spezifischer Energiebedarf von 0,3 kWh und eine CO₂-Emission von 0,08/kg je t Rübenverarbeitung angegeben [1], was etwa 1,8 kWh und 470 g CO₂/kg Zucker entspricht. Insgesamt ist der Primärenergiebedarf in den Fabriken seit 1954 deutlich gesunken (Abbildung 1). Er hat seit 2004 bis heute weiter abgenommen.

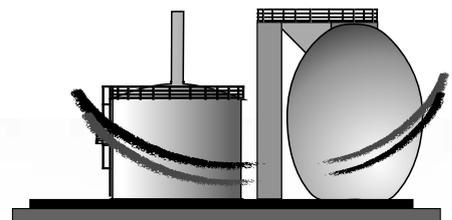
Die Schwankungsbreite der angegebenen Werte ergibt sich aus mehreren Gründen. Sie sind vom technologischen Stand der Produktionsanlagen, insbesondere der Effizienz der Kraft-Wärme-Koppelung und der Wärmekreislaufführung abhängig.

Auch der von Jahr zu Jahr schwankende Zuckergehalt der Rüben beeinflusst den Rechenwert. Ebenso spielt der eingesetzte Primärenergieträger (Öl, Gas, elektrischer Strom) eine Rolle. Zudem ist nicht immer klar, ob zum Beispiel die Schnitzeltrocknung für die Verwertung der Schnitzel als Futtermittel inkludiert ist oder nicht. Die Zahlen sind also nicht einfach vergleichbar. Insgesamt leistet die Zuckerindustrie ihren Beitrag zur Klimapolitik, indem sie den Primärenergieeinsatz verringert. Sie steht heute unter starkem globalem Wettbewerbsdruck insbesondere durch die Rohrzuckerherzeugung, die den Energiebedarf aus der Bagasse decken kann, sodass wirtschaftliche Überlegungen bei Investitionsentscheidungen eine besonders große Rolle spielen.

Wenn man die Rübenzuckerproduktion frei von klimarelevanten CO₂-Emissionen machen will, besteht die Möglichkeit, den Einsatz an fossilen Energieträgern durch Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen zu substituieren. Wenn man Biogas für die Zuckerproduktion während der nur 80 bis 120 Tage dauernden Kampagne gesichert erzeugen will, bietet sich die anaerobe Vergärung der anfallenden ausgelaugten Rübenschnitzel an. Je kg Zuckerproduktion fallen ca. 0,3 kg Trockenmasse von diesem Material an. Der Anfall ist weitgehend synchron zur laufenden Rübenverarbeitung und damit auch zum Energiebedarf der Fabrik. Die Verwertung der Rübenschnitzel als Futtermittel geht dabei allerdings verloren, und der Gärrest muss entsorgt werden. Dafür entfällt der Energiebedarf für die Trocknung der Rübenschnitzel.

Der Energiegehalt des organischen Anteils der Rübenschnitzel (ca. 95 % der Trockensubstanz) kann aus dem CSB abgeleitet werden. Wie Messungen gezeigt haben [3] ent-

EISENBAU HEILBRONN



BEHÄLTER- UND APPARATEBAU



Brüggemannstraße 39-43
74076 Heilbronn

Telefon: 07131 15890
Telefax: 07131 158929
info@eisenbau-heilbronn.de
www.eisenbau-heilbronn.de

Gasspeicher

Trockengasbehälter
stehende Ausführung
liegende Ausführung
Nassgasbehälter

Faulbehälter

alle Bauformen
alle Größen

Entschwefelungsanlagen

H₂S Reinigung
Einturmanlagen
Zweiturmanlagen

Sonderkonstruktionen

Engineering
Behälterprüfung
nach DWA

spricht ein g Trockensubstanz ca. 1,05 g CSB. Je kg Zuckererzeugung sind daher ca. 0,32 kg CSB in den Pressschnitzeln enthalten. Mit dem Energieäquivalent von ca. 15 MJ/kg CSB ergibt sich ein Energiepotenzial in den Pressschnitzeln von $0,32 \cdot 15 = 4,8$ MJ/kg oder umgerechnet 1,33 kWh/kg Zuckerproduktion. Durch anaeroben Abbau können $\geq 75\%$ des CSB in Biogas umgewandelt werden [3]. Aus einem g CSB-Abbau entstehen stöchiometrisch 0,35 Nl Methan, das (im Biogas mit CO_2 vermischt) den Erdgasbedarf der Fabrik substituieren kann. Bei 75 % Wirkungsgrad des anaeroben Abbaus kann daher ein Energieäquivalent im Biogas von $0,75 \cdot 1,33 = 1$ kWh/kg Zuckerproduktion produziert werden. Damit ergibt sich eine Möglichkeit, den Großteil des Energiebedarfs der Zuckerproduktion abzudecken, wenn es gelingt, alle damit verbundenen technischen Probleme zu lösen. Einer Anaerobanlage für die Vergärung der Pressschnitzel können auch andere abbaubare biogene Substrate zugeführt werden, um die Energieproduktion zu steigern. So können die bei der Rübenwäsche in der Fabrik anfallenden Krautmengen und Rübenbruchteile in die Anaerobanlage mit aufgenommen werden, was den Gasanfall um $\leq 5\%$ steigern kann. Außerhalb der Kampagne kann die Anlage stillgelegt oder weiter mit biogenen Materialien beschickt und das entstehende Biogas anderweitig genutzt werden (Gebäudeheizung, Einspeisung ins Gasnetz, Stromproduktion und Einspeisung ins öffentliche Netz) [4]. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Verwertung der Rübenschnitzel und anderer biogener Abfälle zur Biogaserzeugung das Potenzial hat, den Einsatz fossiler Energieträger für die Rübenzuckerproduktion weitestgehend zu vermeiden.

In den folgenden Kapiteln wird die Entwicklung der ersten großtechnischen Anaerobanlage bei der Zuckerfabrik Kaposvár der AGRANA in Ungarn näher erläutert.

Im Gegensatz zur Vermeidung des Einsatzes von fossiler Energie ist das Ziel einer klimaneutralen Zuckerindustrie deutlich schwieriger zu erreichen. Neben CO_2 -Emissionen aus fossilen Energieträgern müssen auch Emissionen von Methan (Faktor 23) und Lachgas (N_2O) (Faktor > 300) mitberücksichtigt werden [3].

- Bei der Behandlung und Entsorgung des Abwassers, des Erdschlammes aus der Rübenwäsche und des Gärrestes aus Anaerobanlagen kommt es bei Lagerung in offenen Teichen oder Kassetten zu relevanten Methanemissionen in die Atmosphäre. Auch bei der Verbrennung von Erd- und Biogas können Methanverluste in das Abgas auftreten.
- Bei der Abwasserbehandlung können vor allem bei der Nitrifikation Lachgasemissionen auftreten. Die Stickstofffracht im Abwasser einer Fabrik wird durch den anaeroben Abbau der Pressschnitzel vergrößert. Dies führt zu einer Verminderung des C/N-Verhältnisses und damit des Denitrifikationspotenzials, was die Emissionen von Lachgas (N_2O) wahrscheinlich begünstigt [5].

Bei der Beurteilung der Vermeidung von Klimagasemissionen ist nicht nur die Verringerung der CO_2 -Emissionen aus fossiler Energie maßgebend, sondern auch jene der anderen klimarelevanten Gase. Bezüglich der Entstehung und vor allem Vermeidung von direkten Methan- und Lachgasemissionen in die Atmosphäre besteht noch erheblicher Mangel an Wissen und Erfahrung.

2 Die Entwicklung der Anaerobanlage der Zuckerfabrik in Kaposvár

2.1 Die spezifische örtliche Situation

Die Entscheidung, ein Projekt zur Versorgung des Produktionsprozesses mit Biogas aus den Pressschnitzeln zu starten, hatte neben wirtschaftlichen Überlegungen auch stark mit den örtlichen Gegebenheiten am Standort der Fabrik im Jahr 2006 zu tun. Sie können kurz wie folgt charakterisiert werden:

- stark schwankende und hohe Preise für Erdgas, den Hauptenergieträger
- Probleme mit der Versorgungssicherheit mit Erdgas insbesondere bei starkem Frost (Konkurrenz durch erhöhten Heizbedarf)
- Fabrik ist Eigentümer der Pressschnitzel, hat keine Trocknungsanlage und Probleme mit der Entsorgung der ausgelagerten Rübenschnitzel in der Region.
- Das Managementteam ist hoch motiviert und technisch sehr versiert.
- Gute Unterstützung des Projekts durch die zuständigen Behörden in Ungarn

2.2 Technische Fragestellungen

Für die Umsetzung der theoretischen Überlegungen in die großtechnische Praxis musste eine Reihe von technischen Problemen gelöst werden, um den Planungsprozess und die Wirtschaftlichkeitsrechnung auf solide Grundlagen zu stellen. Dafür wurde eine enge Kooperation des Unternehmens AGRANA, der Betriebsleitung der Fabrik und des Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement der TU Wien geschaffen sowie ein sehr ambitionierter Zeitplan für Laboruntersuchung und Versuche im Pilotmaßstab (Reaktorvolumen ca. 4 m^3) entwickelt und umgesetzt.

Im Einzelnen wurden im Labor der TU Wien und in den Pilotanlagen vor Ort die folgenden technischen und betrieblichen Fragestellungen untersucht:

- Erzielbare Biogas- und insbesondere Methanproduktion je kg Pressschnitzel
- Prozesswahl und Bemessungsgrundlagen für die Reaktorvolumina und Gasanlagen
- Stabilität des Anaerobprozesses über die Kampagne unter praxisnahen Bedingungen
- Mitvergärung von Krautresten und Rübenschwänzen aus der Rübenwäsche
- Grundlagen für die technische Lösung von Transport-, Mischungs- und Schaumproblemen in der Anaerobanlage (siehe Absatz „Planungsgrundlagen“)
- Nährstoff- und Spurenelementbedarf (einseitige Zusammensetzung des Substrats)
- Impfmateriale für die erste Inbetriebnahme der Großanlage nach Errichtung
- Anfahren des Anaerobprozesses im Normalbetrieb zu jedem Kampagnebeginn, sodass ab Beginn der Rübenverarbeitung die geplante Biogasproduktion erfolgt
- Zusammensetzung des Biogases und seine Eignung als Ersatz von Erdgas im Kesselhaus sowie die Auswirkungen auf die Abgasqualität

Parameter	Wert für Zuckerrübenpressschnitzel
TS [%]	20
oTS [% TS]	96
CSB [g/l]	210
CSB _{mf} [g/l]	11,5
TKN/CSB [g N/kg O ₂]	14,5
P _{ges} /CSB [g P/kg O ₂]	0,9

Tabelle 1: Pressschnitzel-Zusammensetzung

- Anfall und Zusammensetzung des Gärrückstandes und seine Entsorgung (möglichst in bestehenden Anlagen), Auswirkungen auf die Abwasserentsorgung
- erforderliche Mess- Regel- und Steuerungseinrichtungen sowie chemische Analytik
- Einschulung von Betriebspersonal sowie des Betriebslabors während der Pilotversuche.

Es können hier nicht alle Ergebnisse aus dem Entwicklungsprozess beschrieben werden, aber es konnten alle Fragestellungen soweit beantwortet werden, dass das Risiko für die Umsetzung in die Großanlage gering blieb.

2.3 Entwicklungsprozess und Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der frischen Pressschnitzel [6], wie sie in den Pilotanlagen eingesetzt wurden.

Das Methan- und Biogasbildungspotenzial des Anaerobprozesses wurde zuerst in anaeroben Labor-Fermentern im Durchlaufbetrieb (Laufzeit > 3 Schlammalter), also unter stationären Verhältnissen, untersucht. Das Ergebnis: Bei einer CSB-Raubelastung von 10 bis 11 kg CSB/(m³ · d) und einem Schlammalter von 21–23 d tritt ein oTS-Abbau von ca. 80 % und ein Methanbildungspotenzial von 260–270 NI CH₄ je kg zugeführtem CSB auf. Dies entspricht einem CSB-Abbau von 76–78 %. Bei den folgenden Pilotversuchen in der Fabrik konnten diese Ergebnisse bestätigt werden.

Für die Verfahrenswahl wurden zwei Pilotanlagen parallel betrieben, eine einstufige ähnlich einer Klärschlammfäulung und eine zweistufige mit Vorversäuerungs- und Methanstufe. Nachdem die zweistufige Anlage keine Vorteile hinsichtlich

Stabilität und Biogasproduktion gebracht hatte, wurde für die Umsetzung in den Großmaßstab aus Kosten- und betrieblichen Gründen der einstufige Prozess empfohlen.

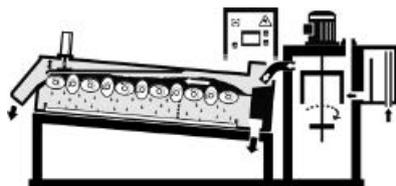
Bei der anaeroben Behandlung von Pressschnitzeln ist damit zu rechnen, dass Mangel an bestimmten Spurenelementen eine Hemmung des Wachstums der Bakterien bewirkt, der durch entsprechende Dosierung behoben werden muss. Die Zusammensetzungen der Rübenschnitzel (Tabelle 1) deutet zwar auf ein für anaerobe Mikroorganismen günstiges Verhältnis von CSB : N : P hin, aber der Bedarf an Nährstoffen und Spurenelementen hängt stark von der Biomasseproduktion der Bakterien und damit vom gewählten Schlammalter ab und kann daher auch bis um den Faktor 3 ansteigen. Bei den Labor- und Pilotversuchen hat sich gezeigt, dass eine ausreichende Versorgung der anaeroben Mikroorganismen mit Spurenelementen (insbesondere Cobalt und Nickel) und Phosphor vorgesehen werden muss, um einen stabilen Prozess bei hohen CSB-Raum-Umsatzraten sicherzustellen. Die endgültige Optimierung der Dosierung kann allerdings erst während des großtechnischen Normalbetriebs der Anaerobanlage erfolgen.

Als Impfmaterail für das erste Einfahren der Anaerobanlage hat sich im Versuchsbetrieb kommunaler Faulschlamm bewährt. Die Menge an Impfschlamm für das Anfahren der Großanlage wurde dann über eine Kosten-Nutzen-Analyse bestimmt (Transportkosten versus Biogasanfall). Zusätzlich sollte während der ersten Kampagne die angestrebte Biogasproduktion für den Normalbetrieb der Anaerobanlage sicher erreicht werden.

Im Pilotbetrieb wurde auch das Einfahren der Anaerobanlage zu Beginn der folgenden Kampagnen im Normalbetrieb eingehend untersucht. Wenn ca. 14 Tage vor Kampagnebeginn die Reaktoren auf die Betriebstemperatur gebracht werden und danach eine gezielte Dosierung von siliert gelagerten Pressschnitzeln aus der vorhergehenden Kampagne erfolgt, kann zu Beginn der Rübenverarbeitung der angestrebte stationäre Biogasanfall erreicht werden.

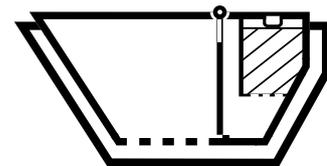
Die kontinuierliche Prozessüberwachung erfolgt über eine Temperatur- und pH-Messung in den Reaktoren. Das beim anaeroben Abbau freigesetzte Ammonium stabilisiert den pH-Wert im neutralen bis leicht alkalischen Bereich. Die Überwachung wird daher durch eine regelmäßige Bestimmung der Konzentration an flüchtigen organischen Säuren (Titrationsmethode) ergänzt, weil ihr Anstieg empfindlicher auf Störungen hinweist als ein Abfall des pH-Werts.

Günstige Schlammwässerung



Eindicker der Serie KUGLER® E-OP

- Öl- und Fettschlämme
- Flotatschlämme
- Waschwasseraufbereitung
- Prozesswasseraufbereitung
- Klärschlämme



Entwässerungscontainer mit integriertem Schrägklärer

KUGLER®
Konzepte für die Fest-Flüssig-Trennung

KUGLER Behälter- und Anlagenbau GmbH
Am Eisberg 8
D-72202 Nagold

Tel. 07452 / 82 19 16
Mail: info@kugler-gmbh.de
www.kugler-gmbh.de

Stoff	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	H ₂ S [ppm]
Anteil	52–54	40–43	200–300

Tabelle 2: Gaszusammensetzung

Die Zusammensetzung des entstehenden Biogases zeigt Tabelle 2. Die Voruntersuchungen haben ergeben, dass nach Adaptierung der Brenner im Kesselhaus Erdgas durch Biogas ersetzt werden kann. Um die Abgaswerte bezüglich SO_x jederzeit einzuhalten, muss der H₂S-Gehalt von ca. 250 ppm auf ≤ 100 ppm reduziert werden, was mit einer geringen Dosierung von Eisenchlorid in die Anaerobreaktoren gesichert erreicht werden kann [3].

Zeitweise auftretende Schaumentwicklung in den Anaerobreaktoren kann durch eine Besprühung der Oberfläche des Reaktorinhaltes mit Schaumbekämpfungsmitteln beherrscht werden. Die Auswahl der Chemikalien muss so erfolgen, dass keine Hemmung des Anaerobprozesses verursacht wird.

Die Hard- und Software für die Überwachung und Steuerung der Anaerobanlage wurde während der Pilotversuche so entwickelt, dass sie auf die Großanlage übertragen werden kann. Im Betrieb der Pilotanlage wurde auch das künftige Betriebspersonal eingeschult.

Die Zusammensetzung und Entsorgung des Gärrestes war Gegenstand der Voruntersuchungen [3, 7]. Der Feststoffgehalt wird durch den anaeroben Abbau von ca. 22 auf ca. 6 % TS verringert, was auch dazu führt, dass der Reaktorinhalt eine mit ausgefautem kommunalem Klärschlamm vergleichbare geringe Viskosität aufweist.

Durch den anaeroben Abbau der organischen Kohlenstoffverbindungen wird Stickstoff in Form von Ammonium freigesetzt. Im Reaktor treten NH₄-N-Konzentrationen von 200 bis 300 mg/l auf. Die zusätzliche N-Fracht ist bei der Entsorgung zu berücksichtigen. Bei der gemeinsamen Lagerung von Erd- und Anaerobschlamm muss mit einer weiteren Freisetzung von Ammonium gerechnet werden [8].

Die Ergebnisse der Untersuchungen bezüglich der Entwässerungseigenschaften des Anaerobschlammes sind bei [3] nachzulesen.

2.4 Planungsgrundlagen

Nach ca. einem Jahr intensiver Laboruntersuchungen und den Pilotversuchen in der Fabrik wurde im Frühjahr 2007 die Entscheidung zur Errichtung der Großanlage für die Verarbeitung von ca. der Hälfte der anfallenden Pressschnitzel getroffen. Die Firmenleitung hat auf Basis der Ergebnisse der Voruntersuchungen und einer Wirtschaftlichkeitsrechnung die folgenden Planungs- und Bemessungsgrundlagen beschlossen:

- einstufiger mesophiler (ca. 38 °C) Anaerobprozess, (wie bei Klärschlammfäulung)
- zwei Anaerobreaktoren mit je 12 000 m³ Reaktionsvolumen in zylindrischer Bauweise, mit ebener Sohle und flacher Decke
- Beschickung mit Pressschnitzeln (i. M. 22 % TS): maximal 1100 t/d (Schlammalter ≥ 22 d)
- Bemessungsraumbelastung 11 kg CSB/m³/d
- Gasanfall maximal 150 000 Nm³/d (55 % CH₄)

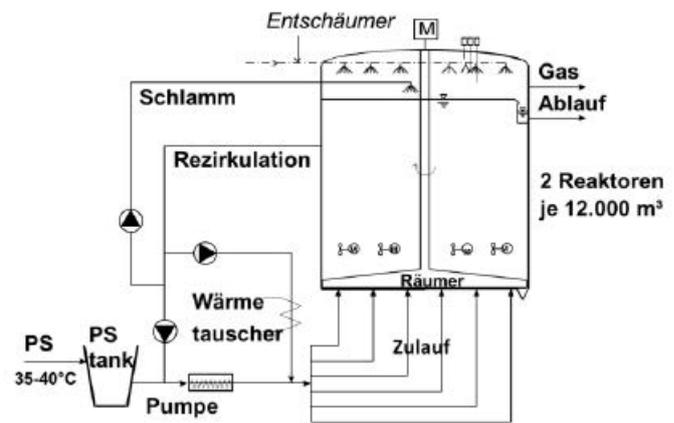


Abb. 2: Fließschema der Anaerobanlage (PS: Pressschnitzel)

- Gasspeicher 1500 m³, als Steuerungsgerät für die Beschickung des Kesselhauses bzw. der Fackel.

Die Auswahl des Reaktortyps erfolgte auf der Basis besonderer Problemstellungen, vorhandener Erfahrung von Großanlagen und Kostenminimierung. Besondere Problemstellungen ergeben sich für die Beschickung mit den Pressschnitzeln („Feststoff“), die Durchmischung des Reaktors, die Schaum- bzw. Schwimmschlammbekämpfung und die Beherrschung von mineralischen Sedimenten (Erde, Sand, Fällungsprodukte). Die Entscheidung fiel zugunsten eines modifizierten EKJ-Reaktors [9] mit einer zylindrischen Bauform, ebener Sohle und Decke. Die Beschickung erfolgt mit einer Mischung aus Pressschnitzeln und Reaktorinhalt, verteilt am Boden des Reaktors. Der rotierende Bodenräumer ermöglicht die Ausschleusung von Sedimenten am Reaktorboden während des Normalbetriebs. Mit einer Sprüheinrichtung für Reaktorinhalt bzw. Schaumbekämpfungsmittel auf die Oberfläche des Reaktorinhalts kann Schwimmschlamm- und Schaumbildung wirksam bekämpft werden.

Infolge der hohen CSB-Raumabbauleistung und der Höhe des Reaktors bewirkt der Gasanfall im Normalbetrieb eine vollständige Durchmischung [10]. Für den Einfahrbetrieb werden Propellermischer mit einer Leistung von ca. 1 W/m³ Reaktorinhalt vorgesehen.

2.5 Bau und Betrieb der Großanlage

Nach einer Bauzeit von nur ca. einem halben Jahr wurde die Großanlage (Abbildung 3) mit Impfschlamm aus einer kommunalen Kläranlage beschickt und während der Kampagne 2007 mit Pressschnitzeln hochgefahren. Ende dieser Kampagne hat die Anlage die geplante Leistungsfähigkeit erreicht und wird seitdem erfolgreich betrieben. Aufgrund der umfangreichen Voruntersuchungen sind keine prozessrelevanten technischen Probleme aufgetreten.

3 Wirtschaftliche Überlegungen

Für die Investitionsentscheidung in Kaposvár war die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit ein zentrales Anliegen. Die Details der Wirtschaftlichkeitsrechnung für das Projekt wurde bereits veröffentlicht [11]. In dieser Veröffentlichung sind auch alle Annahmen für die Kostenrechnung enthalten. Den Betriebskos-



Abb. 3: Die Anaerobanlage der Zuckerfabrik Kaposvár im Jahre 2007

ten für Personal, Wartung, Energie und Chemikalien stehen Einsparung von Kosten für Erdgas und CO₂-Zertifikaten entgegen. Die beiden letzteren unterliegen, wie die jüngere Vergangenheit gezeigt hat, starken Schwankungen von Jahr zu Jahr. Auch die Kampagnedauer hat wesentlichen Einfluss auf die Erlöse. Für die Kostenrechnung wurde von 100 Tagen ausgegangen. Die Kapitalkosten wurden nach der Annuitätenmethode berechnet. Entscheidend für die errechnete Amortisationszeit von vier bis fünf Jahren sind die sehr geringen gesamten Investitionskosten von nur ca. sechs Millionen Euro (im Jahr 2007). Das Projekt hat vorerst keine Änderungen im Bereich Abwasserreinigung und Schlamm Entsorgung erforderlich gemacht.

Diese Wirtschaftlichkeitsüberlegungen können nicht einfach auf andere Zuckerfabriken übertragen werden. Sie müssen immer an die örtliche Situation angepasst werden, insbesondere was die Auswirkungen auf das Rübenschnitzelmanagement, die Gärrest- und die Abwasserentsorgung betrifft. Die Anaerobanlage kann auch ganzjährig für Biogasproduktion genutzt werden, was die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen deutlich verändern kann.

4 Zusammenfassung

Die Entwicklung und Errichtung der ersten großtechnischen Anaerobanlage für die Bereitstellung von Biogas aus den Pressschnitzeln für die Energieversorgung der Rübenzuckerproduktion hat gezeigt, dass eine weitgehende Substitution von fossilen Energieträgern durch Biogas aus Pressschnitzeln prinzipiell möglich erscheint. Die Wirtschaftlichkeit der dafür notwendigen Investitionen und die dafür nötigen Anpassungen des Betriebs hängen jedoch stark von örtlichen, gesetzlichen und wirtschaftlichen Randbedingungen ab.

Die erfolgreiche Errichtung der ersten Anaerobanlage in der Zuckerfabrik Kaposvár erfolgte nach gründlichen Voruntersuchungen im Labor- und mit Pilotversuchen vor Ort des Projekts. Sie haben sowohl eine sichere Bemessung und Ausrüstung der Anlagen wie auch eine relativ genaue Abschät-

zung der zu erwartenden Betriebskosten ermöglicht. Daneben konnte auch die Schulung des Betriebspersonals, die Entwicklung der Mess- und Regeltechnik sowie der Routineüberwachung erfolgen.

Die Vermeidung von fossilen Energieträgern alleine bewirkt noch keine klimaneutrale Produktion, weil insbesondere bei Einsatz von Anaerobprozessen die Gefahr von ungeplanten Methan- und Lachgasemissionen steigt, die einen wesentlichen Teil der klimarelevanten Emissionen ausmachen können. Eine klimaneutrale Zuckerproduktion bleibt jedenfalls derzeit ein Traum, auch wenn er technisch realisierbar erscheint.

Literatur

- [1] www.zuckerverbaende.de/ruebe-zucker/anbau-und-erzeugung/zuckererzeugung/energie-klimaschutz.html, 2012
- [2] Fleischer, L.-G.: Evolutorische Lebensmitteltechnologie und ihre Implikationen mit der Allgemeinen Technologie, *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät* 2004, 75, 49–67
- [3] Brooks (2015): *Biogasproduktion aus organischen Reststoffen aus der Lebensmittelindustrie*. Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, Bd. 234
- [4] <https://wsk.agrana.com/zucker>, 2019
- [5] Parravicini, V., Valkova, T.: *Lachgasemissionen aus kommunalen Kläranlagen*, Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, Bd. 230, 2014
- [6] Parravicini, V., Svardal, K.: *Entsorgung der Reststoffe von Biogasanlagen*, Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, Bd. 219, S. 355–376, 2010
- [7] Kroiss, H., Svardal, K. in: Rosenwinkel, K.-H., Kroiss, H., Dichtl, N., Seyfried, C.-F., Weiland, P. (Hrsg.): *Anaerobtechnik*, 3. Aufl., Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015, S. 477–481
- [8] Parravicini, V., Smidt, E., Svardal, K., Kroiss, H.: Evaluating the stabilisation degree of digested sewage sludge: investigations at four municipal wastewater treatment plants, *Water Science and Technology* 2006, 53 (8), 81–90
- [9] Kroiss, H., Svardal, K.: *Aufwärtsdurchströmter Schlammbedreaktor mit Drehverteiler (EKJ-Reaktor)*, Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, Bd. 73, Institut für Wassergüte, TU Wien, 1989
- [10] Reichel, M.: *Schlammfäulung mit erhöhtem Feststoffgehalt – Chancen, Grenzen, Herausforderungen*, Wiener Mitteilungen Wasser – Abwasser – Gewässer, Bd. 235, 2015
- [11] Brooks, L., Parravicini, V., Svardal, K., Kroiss, H., Prendl, L., Gaschler, E.: Anaerobic treatment of sugar beet pulps for biogas production in a sugar beet factory, *Proceedings of the International Conference and Exhibition on Bioenergy: Challenges and Opportunities*, 6.–9. April 2008, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal

Autor

Em. Prof. Dr. Helmut Kroiss
 TU Wien
 Institut für Wassergüte und
 Ressourcenmanagement
 Karlsplatz 13/2261
 1040 Wien, Österreich

E-Mail: hkroiss@iwag.tuwien.ac.at

