Sachbericht zum Verwendungsnachweis

ProPec

Maßgeschneiderte Pektine aus Zuckerrüben für pharmazeutische Anwendungen

Teilvorhaben 3: Reststoffverwertung

Autor: Dr. Jürgen Pröter

Zuwendungsgeber: Projekträger Jülich (PTJ)
Forschungszentrum Jülich GmbH
Postfach 610247
10923 Berlin

Zuwendungsempfänger: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2023 – 31.03.2024

Projektnummer DBFZ: 3230111

Förderkennzeichen: FKZ 03WIR5312C

Inhaltsverzeichnis

Sachbericht zum Verwendungsnachweis 1
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 3
Abkürzungsverzeichnis 3
I Kurzbericht 5
Ursprüngliche Aufgabenstellung 5
Wissenschaftlich-technischer Stand 5
Ablauf des Vorhabens 5
Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit anderen 6
II Eingehende Darstellung 7
Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse 7
Zahlenmäßiger Nachweis 15
Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 15
Verwertbarkeit der Ergebnisse 15
Auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte Dritter 16
Veröffentlichungen 16
Literatur 16

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsaufbau Biomethanpotentialtestapparatur 10
Abbildung 2: Verfahrensschema Pektinproduktion – Pilotanlage..... 13
Abbildung 3: Herkunft des Gasertrages bei Verwertung der Nebenprodukte der Pektinherstellung.. 14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitplanung der Arbeiten und des Meilensteins 5
Tabelle 2: durchgeführte Analysen und Analysenmethoden 7
Tabelle 3: Analysen allgemeiner Parameter und Futtermittelanalytik 8
Tabelle 4: wasserdampfflüchtige Säuren und Alkohole 9
Tabelle 5: Zusammenstellung der spezifischen Methanbildungspotentiale der untersuchten Probe bezogen auf Frischmasse (FM) bzw. organische Trockensubstanz (oTS) 11
Tabelle 6: Zusammenstellung der korrigierten spezifischen Methanpotentiale 11
Tabelle 7: Ergebnisse der Elementanalytik 12

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ADF	saure Detergenzienfaser
ADL	Säure-unlösliches Lignin
AP	Arbeitspaket
BGA	Biogasanlage
CH_4	Methan
CO_2	Kohlendioxid
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
el.	elektrisch
GC-FID	Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor
FKZ	Förderkennzeichen
getr.	getrocknet
fl.	flüssig

Abkürzung	Erklärung
FM	Frischmasse
FMA	Futtermittelanalytik
H_2S	Schwefelwasserstoff
HRT	hydraulic retention time, Verweilzeit
Korr.	korrigiert
konz. Extraktionsl.	konzentrierte Extraktionslösung
MS	Meilenstein
NaOH	Natriumhydroxid
NDF	neutrale Detergenzienfaser
NFC	nichtfaser Kohlenhydrate
NfE	stickstofffreie Extraktstoffe
NH_4-N	Ammoniumstickstoff
n.n.	nicht nachweisbar
oTS	organische Trockensubstanz
spez.	spezifisch
therm.	thermisch
TKN	Kjeldahl Stickstoff
TS	Trockensubstanz
z. B.	zum Beispiel
Zuckerrübensch.	Zuckerrübenschnitzel

I Kurzbericht

Ursprüngliche Aufgabenstellung

Ziel des WIR! Bündnis „BioZ– Biobasierte Innovationen aus Zeitz und Mitteldeutschland“ ist es neue Produkte, neue Verfahren und neue Wertschöpfung für die Region zu entwickeln. Aufgabe des Projekts „ProPec“ war es im Rahmen einer Machbarkeitsstudie, ein Pektin mit einem bestimmten Eigenschaftsspektrum aus Zuckerrübenschnitzeln herzustellen. Das Pektin sollte als Ausgansmaterial für die pharmazeutische Industrie geeignet sein. Von dem Projektpartner Fraunhofer CBP war u. a. das Extraktionsverfahren im Technikumsmaßstab zu realisieren um das Hauptprodukt Pektin sowie Nebenprodukte für weitere Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Diese Nebenprodukte sollten vom Deutschen Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, im folgenden DBFZ genannt, bezüglich ihrer energetischen Nutzung untersucht werden.

Wissenschaftlich-technischer Stand

Ziel der Machbarkeitsstudie war es, wie schon oben erwähnt Pektin aus Zuckerrübenschnitzeln mit speziellen Eigenschaften zu extrahieren. Die anfallenden Nebenprodukte waren auf die Möglichkeit einer energetischen Nutzung zu untersuchen und zu beurteilen. Als Basis einer energetischen Nutzung wurde bei den anfallenden wässrigen Produkten die Erzeugung von Biogas angesehen. Während das Biogaspotential von Zuckerrübensilage bekannt ist, existieren für extrahierten Zuckerrübenschnitzel nach der Pektingewinnung keine Daten. Dies traf auch auf weitere Nebenprodukte des Pektingewinnungsverfahrens zu, z. B. Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung. Beim Prozess der Pektingewinnung wird Schwefelsäure und Natronlauge eingesetzt. Dadurch entstehen in einem möglichen Biogasprozess Schwefelwasserstoff und Natriumionen. Beide hemmen in hohen Konzentrationen den anaeroben Prozess. Die erwartete Konzentration beider Stoffe waren nur analytisch bzw. durch eine kombinierte Massen- und Stoffbilanz zu bestimmen. Die verwendeten Analysenverfahren entsprachen dem Stand der Technik.

Ablauf des Vorhabens

Tabelle 1 Zeitplanung der Arbeiten und des Meilensteins [1]

	Monat											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
						MS1						
AP1.1 Extraktion - Labor												
AP1.2 Extraktion - Pilot												
AP2 Analytik												
AP3 Reststoffverwertung												
AP4 Bewertung												

Die Arbeiten waren in vier Arbeitspakete aufgeteilt, wobei das DBFZ in den Arbeitspaketen 3 und 4 mitwirkte. Im Ergebnis des Pilotversuches bei Fraunhofer CBP im Technikumsmaßstab wurden Proben zur Biogaspotentatialbestimmung und für weitere Analysen gezogen und am DBFZ analysiert. Die Analysenergebnisse bildeten die Grundlage für die Bewertung des energetischen Potentials der Nebenprodukte.

Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit anderen

Im Rahmen der ersten Projekttreffen zum Projekt ProPec wurde der Pilotprozesses zur Herstellung von Pektin diskutiert. Drei Reststoffe konnten für eine mögliche energetische Nutzung identifiziert werden: extrahierte Zuckerrübenschnitzel, Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung, kondensierter Brüden der Eindampfung der Extraktionslösung. Der Projektpartner Fraunhofer CBP stellte dem DBFZ Proben für die schon im Antrag geplanten Analysen zur Verfügung. Schwerpunkt der analytischen Arbeiten war die Ermittlung des Methanbildungspotentials. Dabei war zu berücksichtigen, dass die untersuchten Produkte wasserdampfflüchtige Bestandteile enthielten, u.a. Ethanol. Die Ergebnisse mussten auf Grund der veränderteren organischen Trockensubstanz korrigiert werden. Alle drei Reststoffe hatten ein hohes Methanbildungspotential. Durch den Pektinextraktionsprozess nimmt das Methanbildungspotential der Zuckerrübenschnitzel nur geringfügig ab. Zur Bewertung einer energetischen Nutzung wurde auf Grundlage der Versuchsdaten des Pilotversuches von Fraunhofer CBP eine Massenbilanz des Pektinherstellungsprozesses erstellt. Damit konnten die anfallenden Mengen der o. g. Nebenprodukte in Bezug zu den Eingangsstoffen ermittelt werden. Diese Daten bildeten die Basis für die Auslegung einer Biogasanlage. Im Ergebnis ließen sich die mögliche Menge an erzeugtem Biogas und anfallender nutzbarer Wärme aus der Verstromung des Biogases ermitteln. Die Ergebnisse wurden mit den Partnern diskutiert, ein Konzept der Verwertung erstellt und die Schlussfolgerung gezogen, dass ein Teil des elektrischen und thermischen Energiebedarfs der Pektinherstellung durch Nutzung der Reststoffe für eine Biogasherstellung gedeckt werden kann.

II Eingehende Darstellung

Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen der ersten Projekttreffen zum Projekt ProPec wurde der Pilotprozesses zur Herstellung von Pektin diskutiert. Für eine mögliche energetische Nutzung konnten zuerst zwei Reststoffe, extrahierte Zuckerrübenschnitzel und ein Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung, identifiziert werden. Im Projektantrag war eigentlich nur von den extrahierten Zuckerrübenschnitzeln ausgegangen worden. Das Analysenprogramm wurde entsprechend angepasst. Bei genauerer Betrachtung der Massenbilanz stellte sich heraus, dass die bei der Eindampfung der Extraktionslösung anfallenden kondensierten Brüden bezüglich einer Verwertung interessant sein könnten.
Das Analysenprogramm (Tabelle 2) wurde entsprechend angepasst.

Tabelle 2 durchgeführte Analysen und Analysenmethoden

Parameter	Einheit	Bestimmt nach
Trockensubstanzgehalt (TS)	% FM	DIN EN 15934 [4]
Gehalt organische Trockensubstanz oTS	% TS	DIN EN 15935 [5]
Neutral-Detergenzien unlöslicher Fasergehalt NDF, Säure-Detergenzien unlöslicher Fasergehalt ADF, Säure-unlösliches Lignin ADL (Futtermittelanalytik)	g/kg TS	Inhouse-Methode nach VDLUFA, Methodenhandbuch Band III [2]
wasserdampfflüchtige Säuren und Alkohole	g/kg FM	Inhouse-Methode nach (GC-FID-Methode) [2]
Gehalt Ammonium- Stickstoff NH_4-N Kjeldahl-Stickstoff TKN	g/L % FM	HACH, DR 2000 Spectrophotometer Handbuch, Nessler-Prinzip DIN EN 25663 [8]
spezifisches Biomethanpotential	mL(CH_4)/g oTS	VDI 4630 [3]

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse für TS, oTS und der Futtermittelanalytik aufgeführt.

Tabelle 3: Analysen allgemeiner Parameter und Futtermittelanalytik

Parameter	Einheit	Zuckerrüben-schnitzel vor Extraktion	Zuckerrüben-schnitzel nach Extraktion	Sumpfprodukt der Ethanolrückgewin-nung	Brüden-kondensat
TS	% FM	89,28	8,51	4,48	
TS korr	% FM	89,4	8,63	5,44	
oTS	% TS	91,63	85,45	97,02	
oTS korr	% TS	91,64	85,65	97,54	
NH_4-N	g/Kg	0,32	0,07	0,02	
TKN	g/kg TS	15,86	19,65	8,1	
Rohfett	g/kg TS		11,2	21,4	
Rohfaser	g/kg TS	319,2	192,6	keine Fasern	
Zellulose	g/kg TS	412,3	126,1	keine Fasern	
Lignin	g/kg TS	74,6	130,1	keine Fasern	
Hemizellulose	g/kg TS	50,0	250,5	keine Fasern	
NDF	g/kg TS	536,9	506,7	keine Fasern	
ADF	g/kg TS	486,9	256,2	keine Fasern	
CSB	g O_2/L				1,72

Biogas- bzw. Biomethan werden u. a. auf die organische Trockenmasse bezogen. Bei den üblichen Trocknungs- bzw. Veraschungsprozessen zur Bestimmung der Trockenmasse/ organischen Trockenmasse entweichen flüchtige organische Substanzen, es kommt zur Minderbestimmung. Es erfolgte deshalb eine Korrektur der Trockenmasse und des Methanbildungspotential nach Weißbach nach der Formel für Zuckerrübensilage [3, 6].

Tabelle 4 zeigt die ermittelten Konzentrationen an wasserdampfflüchtigen Säuren und Alkoholen. Es ist ersichtlich, dass einige Werte relativ hoch sind, so dass für TS und oTS eine Korrektur, wie oben beschrieben, notwendig war, um die TS als nur wasserfreie Größe zu erfassen.

Tabelle 4 wasserdampfflüchtige Säuren und Alkohole

Parameter	Einheit	Zuckerrüben-schnitzel vor Extraktion	Zuckerrüben-schnitzel nach Extraktion	Sumpfprodukt der Ethanolrückgewin-nung	Brüden- kon-densat
Ameisensäure	mg/L	162,40	19,29	664,80	4,40
Essigsäure	mg/L	695,07	1180,73	3.842,30	930,00
Propionsäure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
i-Buttersäure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
n-Buttersäure	mg/L	68,20	2,16	63,80	2,80
i-Valeriansäure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
n-Valeriansäure	mg/L	45,93	3,35	5,20	0,46
i-Hexansäure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
Hexansäure	mg/L	105,1	5,66	8,10	3,83
Heptansäure	mg/L	2,00	0,13	0,00	0,00
Octansäure	mg/L	3,13	0,29	1,90	0,07
Nonansäure	mg/L	0,60	0,04	0,00	0,00
Decansäure	mg/L	0,13	0,01	0,00	0,00
Milchsäure	mg/L	2211	131,8	0,00	0,00
Benzoesäure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
Phenylessigsäure	mg/L	197,9	8,03	206,3	0,00
Phenylpropionsäure	mg/L	255,5	12,84	257,8	0,00
2-Propanol	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
Ethanol	mg/L	0,00	0,00	5187	370
2-Butanol	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
1-Propanol	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
1-Butanol	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00
Furfural	mg/L	0,00	9,87	392,00	11,67
5-Methylfurfural	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00

Auffallend ist die Erhöhung der Konzentration an Essigsäure durch den thermischen Extraktionsprozess mit Schwefelsäure in den extrahierten Zuckerrübenschnitzeln. Ursache sind chemische Umwandlungsprozesse bzw. ein mikrobiologischer Abbau von Restzuckern bzw. Zellulose bei der Lagerung der extrahierten Zuckerrübenschnitzel. Milchsäure wird durch den thermischen Prozess zersetzt. Neben dem erwarteten Ethanol reichern sich im Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung Essigsäure und Ameisensäure an. Diese Stoffe sind gut anaerob abbaubar.

Die Bestimmung des Biomethanpotentials wurde mit einem vollautomatischen Methan-Potential-Test-Systems II (AMPTS II) der Firma BPC Instruments in Probenflaschen mit einem Volumen von 500 mL realisiert (Abb. 1).

Abb. 1: Versuchsaufbau Biomethanpotentialtestapparatur (Foto: AMPTS, Versuchsaufbau Batch-Tests, DBFZ)

Neben den o. g. Proben erfolgte noch die Bestimmung des Methanpotentials des verwendeten Inoculums und eines Referenzsubstrates (mikrokristalline Cellulose). Jeder Versuchsansatz wurde als Dreifachbestimmung durchgeführt. Der Versuch erstreckte sich über einen Zeitraum von 31 Tagen bei einer Temperatur von 39 °C. Zugrundeliegendes Abbruchkriterium war hierbei eine Nettomethanbildung kleiner 0,5 Prozent über einen konsekutiven Zeitraum von drei Tagen.
Die Durchführung der Vergärungsversuche richtete sich nach der VDI 4630 Nr.5a [3] oder vergleichbaren Vorschriften. Zudem wurde die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes und organischen Trockensubstanzgehaltes nach DIN EN 15934 [4] und DIN EN 15935 [5] vorangestellt. Die im Folgenden angegebenen Volumeneinheiten sind normiert (101,3 kPa, 273,15 K). Die spezifischen Methanbildungspotentiale sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die mikrokristalline Cellulose erreichte mit 383 ml/g oTS den theoretischen Sollwert von 372,5 ml/g oTS zu 103 %. Die Inoculumqualität konnte hierdurch als geeignet bestätigt werden.

Tabelle 5: Zusammenstellung der spezifischen Methanbildungspotentiale der untersuchten Proben bezogen auf Frischmasse (FM) bzw. organische Trockensubstanz (oTS); n=3

Probenbezeichnung	Mittelwert spezifisches Methanpotential [mL(CH_4)/g FM]	Mittelwert spezifisches Methanpotential [mL(CH_4)/g oTS]	Relative Standardabweichung [%]
Inoculum	1	49	0
Referenzsubstrat (mikrokristalline Cellulose)	366	383	3
Zuckerrübenschnitzel vor Extraktion	322	394	3
Zuckerrüben nach Extraktion	26	359	6
Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung	24	550	7

Die im Brüdenkondensat enthaltene organische Trockenmasse war zu gering für eine Bestimmung des Methanbildungspotentials gemäß VDI 4630. Es erfolgte eine stöchiometrische Berechnung an Hand der in Tabelle 4 aufgeführten Inhaltsstoffe.

Tabelle 6: Zusammenstellung der korrigierten spezifischen Methanpotentiale

Parameter	Einheit	Zuckerrübenschnitzel vor Extraktion	Zuckerrübenschnitzel nach Extraktion	Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung	Brüdenkondensat
spezifisches Methanpotential	mL(CH_4)/g oTS	394	359	550	
spezifisches Methanpotential (korrigiert)	mL(CH_4)/g oTS	394	353	451	389 [1)]

[1)]stöchiometrisch berechnet

Durch den Pektinextraktionsprozess nimmt das Methanbildungspotential der Zuckerrübenschnitzel nur geringfügig ab. Das ermittelte Potential liegt im Bereich von Zuckerrübensilage (349 CH_4)/g oTS) [7]. Das hohe Methanbildungspotential von dem Sumpfprodukt der Ethanolrückgewinnung ist auf dessen hohen Ethanolgehalt (siehe Tabelle 3) zurückzuführen. Das aus Ethanol gebildete Biogas enthält 75% Methan (Tabelle 6).

Tabelle 7: Ergebnisse der Elementanalytik

Parameter	Einheit	Zuckerrüben-schnitzel vor Ex-traktion	Zuckerrüben-schnitzel nach Extraktion	Sumpfprodukt der Ethanolrückgewin-nung
Selen	mg/kg TS	0,026	0,03	0
Aluminium	mg/kg TS	978	639	98,2
Barium	mg/kg TS	30,7	32,5	n.n.
Calcium	mg/kg TS	14700	15500	n.n.
Cadmium	mg/kg TS	0,216	n.n.	n.n.
Cobalt	mg/kg TS	0,797	n.n.	n.n.
Chrom	mg/kg TS	10,2	2,53	2,7
Kupfer	mg/kg TS	5,37	5,52	3,6
Eisen	mg/kg TS	1090	720	44,2
Kalium	mg/kg TS	3270	1840	n.n.
Lithium	mg/kg TS	0,935	0,65	n.n.
Magnesium	mg/kg TS	2560	1130	323,7
Mangan	mg/kg TS	95,6	48,5	5,6
Molybdän	mg/kg TS	0,8	n.n.	n.n.
Natrium	mg/kg TS	284	20800	7522,3
Nickel	mg/kg TS	3,73	2,89	2,4
Phosphor	mg/kg TS	864	7,65	991,1
Blei	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Schwefel	mg/kg TS	2340	17400	5513,4
Silicium	mg/kg TS	1510	1330	1129,5
Strontium	mg/kg TS	44,6	36,7	n.n.
Titan	mg/kg TS	n.n.	45,1	n.n.
Thallium	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Wolfram	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Zink	mg/kg TS	15,3	10,6	1,6

Die Ergebnisse der Elementanalytik (Tabelle7) ergeben insbesondere Erkenntnisse, welche Elemente dem Biogasprozess zugeführt werden. Auffällig ist die hohe Konzentration an Natrium und Schwefel in den Zuckerrübenschnitzeln nach der Extraktion und im Sumpfprodukt. Die Auswirkungen werden unten diskutiert. Des Weiteren fehlen in den Substraten für den Biogasprozess essentielle Spurenelemente (Cobalt, Molybdän). Für einem eventuellen Biogasprozess ist deshalb eine zusätzliche Spurenelementezufuhr notwendig.

Zur Bewertung einer energetischen Nutzung wurde aus den Versuchsdaten des Pilotversuches von Fraunhofer CBP eine Massenbilanz des Pektinherstellungsprozesses erstellt. Damit konnten die anfallenden Mengen der o. g. Nebenprodukte in Bezug zu den Eingangsstoffen ermittelt werden. Diese Daten bildeten die Basis für die Auslegung einer Biogasanlage.

Grundlage der Massenbilanz bildeten die Vorgaben von Fraunhofer CBP zum Pilotprozess (Substrateinsatz, Anfall an extrahierten Zuckerrübenschnitzeln, Eindampfungsrate der Extraktionslösung, Ethanoleinsatz, Menge an gewonnenem Pektin). Bei der Eindampfung der Extraktionslösung fällt ein Brüdenkondensat an. Es war zu ermitteln, ob dieses Brüdenkondensat einen wesentlichen Beitrag zur Energiegewinnung aus den Nebenprodukten der Pektinherstellung leistet.
Die Massenbilanz und Auslegung der Biogasanlage wurde deshalb für zwei Varianten durchgeführt (mit und ohne Brüdenverwertung).
Abbildung 2 zeigt ein Schema der Massenbilanz. Die exakten Daten sind im Erfolgskontrollbericht veröffentlicht.

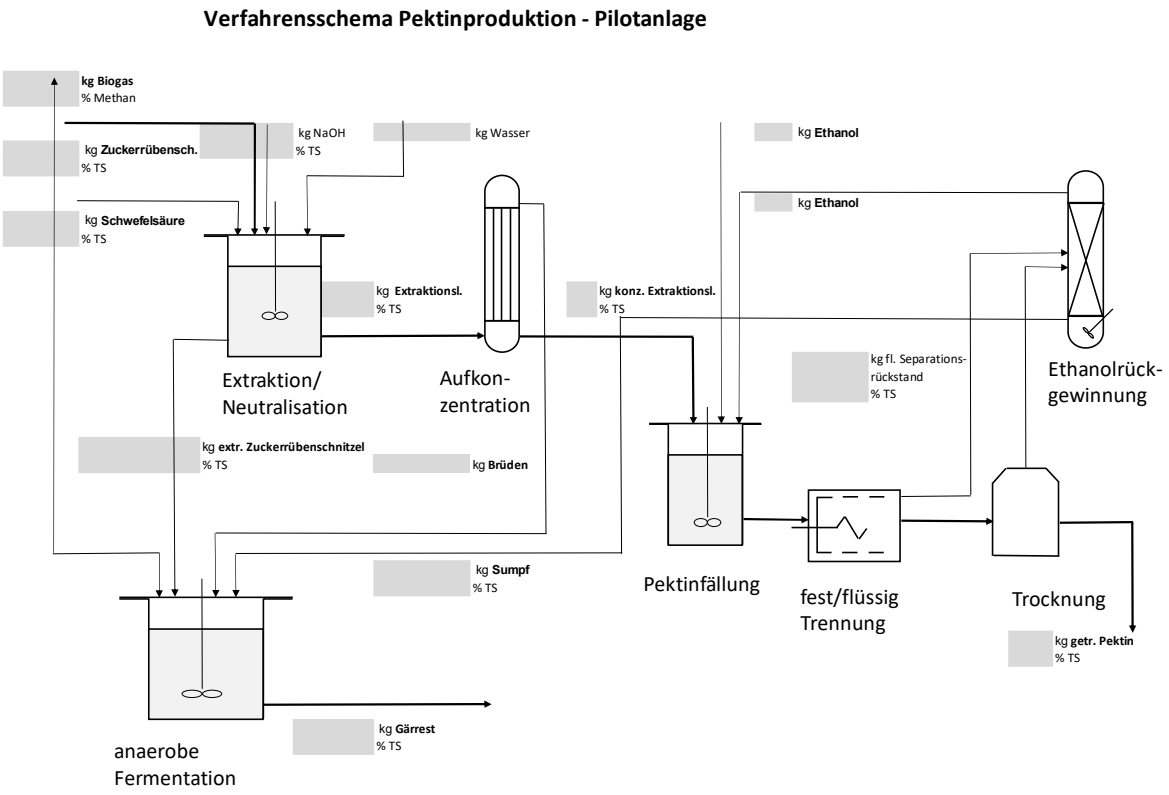

Abb. 2: Verfahrensschema Pektinproduktion - Pilotanlage

Mit den in der Massenbilanz ermittelten Mengen an Nebenprodukten und den Analysendaten einschließlich der bestimmten Methanbildungspotentiale konnte für den Pilotprozess eine Biogasanlage ausgelegt werden. Die Auslegung erfolgte für die oben genannten zwei Varianten, mit und ohne Brüdenverwertung. Die Auslegung wurde auf Basis eines Zuckerrübenschnitzeleinsatzes von 20 kg/d durchgeführt und ist beliebig skalierbar:

	mit Brüdenverwertung	ohne Brüdenverwertung
Gasbildung	10,0 m^3/d Biogas	9,7 m^3/d Biogas
Leistung BHKW	895 $W_{el.}$	869 $W_{el.}$
	722 $W_{therm.}$ nutzbar	701 $W_{therm.}$ nutzbar
TS Fermenter	1,7 %	2,3 %
NH_4 Fermenter	0,21 g/L	0,51 g/L

Der Biogasertrag aus den einzelnen Substraten setzt sich wie folgt zusammen:

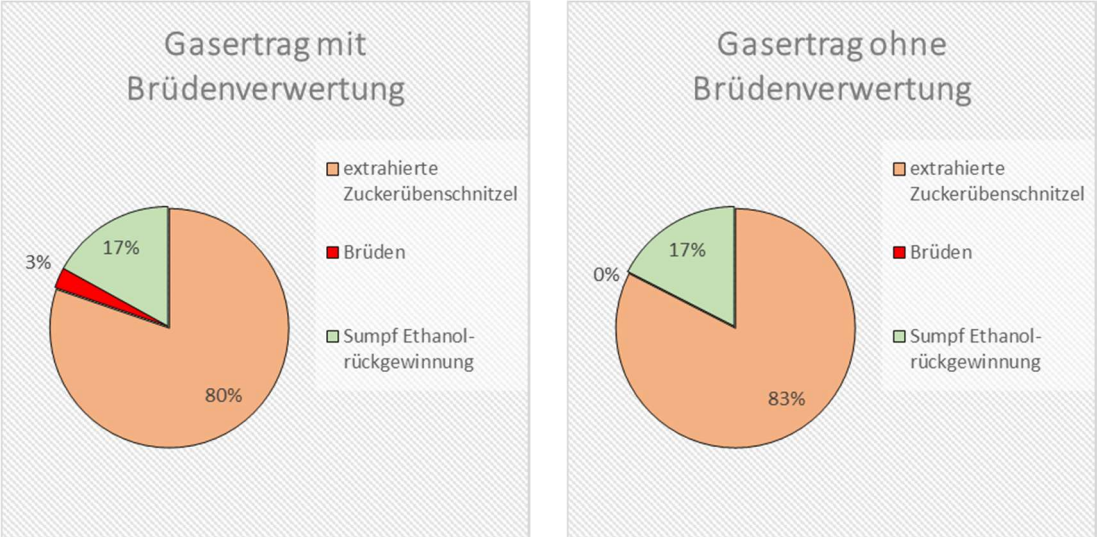

Abb. 3: Herkunft des Gasertrages bei Verwertung der Nebenprodukte der Pektinherstellung

Aus Abbildung 3 ist erkennbar, dass die erzeugte Biogasmenge aus Brüden nur 3% der Gasbildung ausmacht. Des Weiteren steigt durch den Verzicht des Einsatzes der Brüden die Ammoniumstickstoffkonzentration. Ab einer Ammoniumstickstoffkonzentration von 0,5 g/L ist bei einem adaptierten anaeroben Prozess eine Biogaserzeugung möglich. Von Vorteil für eine landwirtschaftliche Verwertung des Gärrestes ist auch der höhere Trockensubstanzgehalt, wenn die Brüden nicht dem Biogasprozess zugeführt werden. Es braucht bei der Ausbringung weniger Wasser transportiert werden. Im Rahmen des Projektkonsortiums wurde deshalb beschlossen, auf den Einsatz von Brüdenkondensat in einer möglichen Biogasanlage zu verzichten.

Die Abwärme aus einem möglichen BHKW-Betrieb kann einen Teil des Wärmebedarfs der Pektinherstellung decken. Beim Beispiel Pilotanlage fallen 62 MJ nutzbare Wärme an. Der Wärmebedarf für die Eindampfung der Extraktionslösung beträgt bei einem einstufigen Verdampfer 959 MJ. Könnte ein 5-sufiger Verdampfer eingesetzt werden reduziert sich dieser Wert auf ca. 190 MJ. 33 % davon könnten mit der nutzbaren Wärmeenergie aus dem Biogasprozess gedeckt werden.

Auf zwei Risiken der Biogaserzeugung muss noch hingewiesen werden. Würde der gesamte Schwefel der eingesetzten Substrate zu Schwefelwasserstoff umgewandelt werden, ist stöchiometrisch berechnet eine Schwefelwasserstoffkonzentration von größer 17.000 ppm zu erwarten. Bei dieser Konzentration wird der Biogasprozess gehemmt [9]. Diese Hemmung konnte aber bei der Methanpotentialbestimmung, die keine H_2S-Messung erlaubt, nicht beobachtet werden. Es wurde deshalb im Nachgang mit einer Eudiometerapparatur eine Bestimmung der Gaszusammensetzung vorgenommen. Dabei wurde ein Wert von 5.072 ppm H_2S ermittelt. Die Differenz zu dem berechneten Wert kann mit nicht reduzierbaren Schwefelverbindungen erklärt werden. Auf jeden Fall besteht noch Forschungsbedarf. Ein zweites Risiko stellt Natrium im Gärsubstrat dar. Auch hier konnte die Konzentration nur berechnet werden und liegt mit 1.341 mg/L unter den Wert für eine Hemmung. Mit den vorliegenden Daten gelang es aber nicht, eine schlüssige Natriumbilanz aufzustellen. Zur Klärung beider Probleme sind kontinuierliche anaerobe Vergärungsversuche notwendig.

Ein abschließender Punkt der Aufgabenstellung war es, erste grobe Aussagen zu einem Konzept für eine großtechnische Vergärung der Nebenprodukte der Pektinherstellung zu treffen. Dieses Konzept hängt wesentlich von der Größe der Pektinproduktion und der damit verbundenen Menge anfallender Nebenprodukte ab. Daraus ergeben sich zwei Varianten:

- Vergärung in einer separaten Anlage,
- Co-Vergärung mit anderen Substraten.

Die mindestens erforderliche Verweilzeit des Gärprozesses kann auf Grund der beobachteten schnellen Gasbildung mit ca. 20 Tagen angesetzt werden. Es ist sinnvoll eine Biogasanlage mit Biomasserückhaltung auszuwählen. Es wird so die zu erwartende niedrige Ammoniumstickstoffkonzentration kompensiert. Derartige Anlagen sind auch unempfindlicher gegenüber Prozesshemmungen. Bei einer Totalaufbereitung der Gärreste, was sich bei den niedrigen Trockensubstanzgehalten anbietet, kann auf große Gärrestlager verzichtet werden.

Zusammenfassend lässt sich eine mögliche energetische Nutzung von Reststoffen aus der Pektinherstellung wie folgt bewerten:

- Aus dem Prozess der Gewinnung von Pektin aus Zuckerrübenschnitzeln konnten drei für eine Biogasherstellung geeignete Reststoffe identifiziert werden:
    - extrahierte Zuckerrübenschnitzel,
    - Brüden aus der Aufkonzentration der extrahierte Zuckerrübenschnitzel,
    - Sumpfprodukt der Ethanolaufbereitung.
- Alle drei Reststoffe haben ein hohes Methanbildungspotential.
- Durch den Pektinextraktionsprozess nimmt das Methanbildungspotential der Zuckerrübenschnitzel nur geringfügig ab.
- Die Biogasmenge aus Brüden macht nur 3% der Gasbildung aus. Ein Einsatz zur Biogasgewinnung ist nicht zu empfehlen.
- Die erzeugte Energie aus der Biogasgewinnung kann einen Teil des elektrischen und thermischen Energiebedarfs der Pektinherstellung decken.

Zahlenmäßiger Nachweis

Die Fördermittel sind planmäßig für die labortechnischen Analysen, die wissenschaftliche Aus- und Bewertung eingesetzt worden.

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Personalkosten machten einen großen Teil der geleisteten Aufwendungen aus. Ein geringer Teil wurde für Verbrauchsmaterial eingesetzt. Reisekosten hat das Projektpersonal aus ökologischen Gründen selbst getragen. Die durchgeführten Analysen waren notwendig und im Vorfeld geplant. Die wissenschaftliche Arbeit betraf zum einen die Auswertung der Analysen und zum anderen eine Bilanzierung des gesamten Herstellungsprozesses des Pektins, um eine energetische Bewertung des Einsatzes der anfallenden Nebenprodukte für einen Biogasprozess vornehmen zu können.

Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Arbeiten des DBFZ zeigten, dass eine Verwertung der Nebenprodukte aus der Pektinproduktion zur Biogasgewinnung möglich ist. Die erzeugte Energie aus der Biogasgewinnung kann einen Teil des elektrischen und thermischen Energiebedarfs der Pektinherstellung decken. Mit der Machbarkeitsstudie sind noch einige Fragen, wie im Bericht dargestellt, offengeblieben, die grundlegenden Untersuchungen bedürfen.

Das DBFZ hat seine Expertise bezüglich der Analytik zur Erfassung sämtlicher Parameter zur Bewertung von Biogasprozessen gezeigt. Bezüglich der Massenbilanzierung des Pektinherstellungsprozesses mussten zum Teil auf Grund der verfügbaren Datenlage neue Ansätze gefunden werden. Die daraus gefundenen Erkenntnisse können in zukünftigen Projekten Verwendung finden.

Auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte Dritter

Auf dem Gebiet der vom DBFZ bearbeiten Forschungsaufgaben des Projektes sind keine neuen Erkenntnisse Dritter bekanntgeworden.

Veröffentlichungen

Von Seitens des DBFZ sind keine Veröffentlichungen geplant. Bei Zustimmung der Projektpartner werden die ermittelten Methanbildunspotentiale dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. zur Aufnahme in die Datensammlung zu Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Verfügung gestellt.

Literatur

[1] Maßgeschneiderte Pektine aus Zuckerrüben für pharmazeutische Anwendungen TP1: Extraktionsverfahren, Schlussbericht Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP), Förderkennzeichen: 03WIR5312A, Leuna 2024

[2] Liebetrau, J.; Pfeiffer, D.; Trähn, D. (2015): Messmethodensammlung Biogas. Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich, Leipzig, Fischer Druck, ISSN 2192–1806.

[3] **VDI 4630**; Vergärung organischer Stoffe; Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche; Deutsche Fassung 2016

[4] **DIN EN 15934**; Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Berechnung des Trockenmassenanteils nach Bestimmung des Trockenrückstands oder des Wassergehalts; Deutsche Fassung EN 15934:2012

[5] **DIN EN 15935**; Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall –Bestimmung des Glühverlusts; Deutsche Fassung EN 15935:2012

[6] Weißbach, F; Strubelt, C. (2008a): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Zuckerrübensilagen als Substrat für Biogasanlagen, Landtechnik63(4), S. 354-355

[7] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (2021): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. ISBN 978-3-945088-85-2

[8] **DIN EN 25663**; Wasserbeschaffenheit; Bestimmung des Kjeldahl-Stickstoffs; Verfahren nach Aufschluß mit Selen; Deutsche Fassung EN 25663:1993

[9] Mollekopf, N.: Verbesserung von Entschwefelungsverfahren in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Abschlussbericht, Dresden 2006, S.16