

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Presswasservergärung aus getrennt erfassten Restabfällen mit überwiegender
Eigenstrom- und Abfallnutzung (PV-Restabfall)

KfW-Aktenzeichen: NKa3-3323

Zuwendungsempfänger/in

Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH (EVA)

Umweltbereich

Abfall

Laufzeit des Vorhabens

21.12.2017 – 31.03.2022

Autor/en

Dipl.-Ing. (FH) / M.Eng. Holger Poczka

Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH

Dr.-Ing. Thomas Böning

Universität Rostock¹

Dipl.-Ing. Dorothee Sängler

Sutco RecyclingTechnik GmbH

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

28.09.2022

¹ Kapitel 2 und Kapitel 3.1 bis 3.2 aus der wissenschaftlichen Begleitung der Universität Rostock

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: NKa3-3323	Projekt-Nr.: 33791/01-32
Titel des Vorhabens: Presswasservergärung aus getrennt erfassten Restabfällen mit überwiegender Eigenstrom- und Abfallnutzung (PV-Restabfall)	
Autor/-en (Name, Vorname): Dipl.-Ing. (FH) Holger Poczka M-Eng.	Vorhabenbeginn: 21.12.2017
	Vorhabenende : 31.03.2022
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Erbschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 40
Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz	

Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen):

2019 wurde die bestehende Rotte MBA der EVA GmbH in Erbenschwang um eine Vergärungsstufe erweitert, in der das sogenannte Presswasserfermentationsverfahren, entwickelt von der Sutco RecyclingTechnik GmbH, realisiert wurde.

Bei dem Verfahren erfolgt eine Abtrennung des Materials < 60 mm. Dieses Material wird einer Presse zugeführt. Unter Zugabe von Wasser werden die im Abfall enthaltenen organischen Stoffe in der Presse ausgewaschen. Es erfolgt eine Entwässerung des Abfalls, wobei die flüssige Phase (Presswasser) der Anaerobstufe zugeführt wird, während der entwässerte Abfall (Presskuchen) zur Rotte transportiert wird.

Die biologische Stufe besteht aus zwei Vorlagebehältern, zwei Festbettfermentern, zwei Nachfermentern und einem Rührkesselfermenter. Der den Rührkesselfermenter verlassende Gärrest wird der Presse wieder zugeführt, so dass kein überschüssiges Abwasser anfällt. Das durch den anaeroben Abbau entstehende Biogas wird in einem BHKW verwertet.

Im Rahmen des Betriebs konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, den Prozess abwasserfrei zu betreiben. Es besteht sogar ein Wasserbedarf. Trotz hoher Ammoniumkonzentrationen konnten keine Hemmungen festgestellt werden. Kritisch muss die geringe Gasausbeute des Prozesses bewertet werden. Die Ursache hierfür liegt aber nicht im anaeroben Teilprozess, sondern darin, dass in der Presse eine zu geringe organische Fracht in das der Anaerobstufe zugeführten Presswassers ausgebracht wird. So gelangten von der im Abfall enthaltenen anaerob abbaubaren Organik nur ca. 25 % in das Presswasser. Der überwiegende Anteil verlässt die Presse über den Presskuchen und gelangt so zur Rotte. Trotz verschiedener Optimierungsversuche war es nicht möglich, die Gasausbeute relevant zu verbessern. Ein Lösungsansatz scheint aber trotz allem nicht unmöglich zu sein.

Schlagwörter:

Presswasservergärung, Teilstromvergärung

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform:

Elektronischer Datenträger:

Sonstige Medien:

Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: NKa3-3323	Project–No.: 33791/01-32
Report Title: Pressed water fermentation from separately collected residual waste with predominant use of own electricity and waste (PV residual waste)	
Author/Authors (Family Name, First Name): Dipl.-Ing. (FH) Holger Poczka M-Eng.	Start of project: 21.12.2017
	End of project: 31.03.2022
Performing Organisation (Name, Address): Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH	Publication Date:
	No. of Pages: 40
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection.	

Summary (max. 1.500 characters):

In 2019, the existing aerobic MBT of EVA GmbH in Erbenschwang was extended to include a fermentation stage in which the so called press water fermentation process, developed by SUTCO Recycling-Technik GmbH, was realized.

The process involves separation of the material < 60 mm. This material is fed to a press. With the addition of water, the organic substances contained in the waste are washed out in the press. The waste is dewatered and the liquid phase (press water) is fed to the anaerobic stage, while the dewatered waste (press cake) is transported to the rotting stage.

The biological stage consists of two feed tanks, two fixed bed fermenters, two secondary fermenters and one stirred tank fermenter. The digestate leaving the stirred tank fermenter is returned to the press so that no excess wastewater is produced. The biogas produced by the anaerobic digestion is utilized in a CHP unit.

During operation, it was demonstrated that it is possible to run the process without wastewater. There is even a water requirement. Despite high ammonium concentrations, no inhibitions could be detected. The low gas yield of the process must be evaluated critically. However, this is not due to the anaerobic sub-process, but to the fact that in the press an insufficient organic load is discharged into the press water supplied to the anaerobic stage. Thus, of the anaerobically degradable organic matter contained in the waste, only about 25% reached the press water. The major part leaves the press via the press cake and thus reaches the rotting process. Despite various optimization attempts, it was not possible to improve the gas yield to any relevant extent. However, a solution does not seem to be impossible.

Keywords:

Pressed water fermentation, partial flow fermentation

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens	1
1.2	Ausgangssituation.....	1
2	Vorhabenumsetzung	8
2.1	Ziel des Vorhabens	8
2.2	Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	8
2.3	Umsetzung des Vorhabens	10
2.4	Behördliche Anforderungen - Genehmigung nach § 16 BImSchG.....	14
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	16
3	Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielführung	18
3.1	Bewertung der Vorhabendurchführung.....	18
3.2	Stoff- und Energiebilanz.....	21
3.3	Umweltbilanz.....	26
3.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse	26
3.5	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	30
3.6	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	32
3.7	Modellcharakter/Übertragbarkeit	34
4	Zusammenfassung/Summary	35
4.1	Zusammenfassung.....	35
4.2	Summary	38
5	Literatur	40

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Fließschema MBA Erbenschwang vor Erweiterung Presswasservergärung	2
Abb. 2: Energieverbräuche vor 2019 mit PV Anlage Betriebsgebäude ohne Vergärung und Ringfundament, ab 2019 Betriebsgebäude mit Vergärung und Ringfundament	3
Abb. 3: Stoffstrom MBA vor der Vergärung.....	6
Abb. 4: Fließschema MBA / EBS-Aufbereitung / Vergärung.....	7
Abb. 5: Schneckenpresse der Fa. Bellmer-Kufferath.....	8
Abb. 6: Fließschema der Vergärungsanlage in Erbenschwang	9
Abb. 7: Vergärungsanlage in Erbenschwang mit Vorlagebehälter, 2 Festbettfermenter, 2 Nachfermentern und dem nachgeschalteten Rührkesselfermenter (rechts)	10
Abb. 8: Skizze des neuen Vorlagebehälters	13
Abb. 9: Biogasertrag bezogen auf Abfallinput der Presse	18
Abb. 10: DOC-Konzentrationen im Presswasser sowie in den Reaktoren	20
Abb. 11: Gesamtmassenbilanz der Vergärungsstufe der MBA Erbenschwang.....	22
Abb. 12: Massenbilanz bezogen auf Frischabfallmenge.....	22
Abb. 13: Bilanz der elektrischen Energiemengen der MBA Erbenschwang	23
Abb. 14: Ganglinie des Eigenstromanteils am Gesamtverbrauch	24
Abb. 15: Nutzung des in den Jahren 2020 und 2021 erzeugten EE-Stroms	24
Abb. 16: Versorgung der MBA Erbenschwang mit elektrischer Energie.....	25
Abb. 17: Wärmebilanz der MBA Erbenschwang	25
Abb. 18: Personalkosten von 2018 bis 2022.....	27
Abb. 19: Betriebswirtschaftliche Betrachtung von 2018 bis 2022	27
Abb. 20: Entwicklung Kosten/kWh (in ct.) 2019 bis 2022 (Hochrechnung).....	28
Abb. 21: Stromerzeugung und -verwertung BHKW 2020 bis 2022.....	28
Abb. 22: Anteil Stromabdeckung Gesamtverbrauch AEZ von 2019 bis 2022	29
Abb. 23: Entwicklung Stromkosten (in €) pro Tonne Restmüll.....	29
Abb. 24: Zunahme der Stromproduktion durch Optimierungsmaßnahmen technisch und organisatorisch.....	32

Abkürzungsverzeichnis

€/Mg	€ pro Megagramm = € pro Gewichtstonne
BF 1	Biofilmfermenter 1
BF 2	Biofilmfermenter 2
BHKW	Blockheizkraftwerk
BK Presse	Bellmer Kufferath Presse
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DOC	dissolved organic carbon
EBS	Ersatzbrennstoff
EE	Eigenstromerzeugungsanlage
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EGW	Entsorgungsgesellschaft Westmünsterland
Eintrag BA	Eintrag Biologische Anlage
EMOS	Wiegeprogramm der S+F Datentechnik
EnBV	Energieeffiziente Bioabfallverwertung
EVA GmbH	Erbenschwanger Verwertungs- und Abfallentsorgungsgesellschaft mbH
FeOH	Eisenhydroxid
FuE	Forschung und Entwicklung
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kWh	Kilowattstunden
kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/Mg	Kilowattstunde pro Megagramm
kWh _{el}	Kilowattstunden elektrisch
m ³	Kubikmeter
MBA	Mechanisch Biologische Abfallanlage
MWh	Megawattstunden
NF 1	Nachfermenter 1
NF 2	Nachfermenter 2
Nm ³	Norm Kubikmeter
ppm	Parts per million
PV Anlage	Fotovoltaik Anlage
PV-Restabfall	Projekt Vorhaben Restabfall
RKF	Rührkesselfermenter
RTO	Regenerative Thermische Oxidationsanlage
TS	Trockensubstanz
VL	Vorlagebehälter
WG	Wassergehalt

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die EVA GmbH setzt als beauftragte Dritte das Abfallwirtschaftskonzept des oberbayerischen Landkreises Weilheim-Schongau um. Der Landkreis hält 100% der Gesellschafteranteile. Am Standort Erbenschwang betreibt die EVA ein Abfallentsorgungszentrum mit einer mechanisch-biologischen Behandlungsanlage (MBA) für Restmüll. Der Landkreis bietet seit 1993/1994 und damit als eine der ersten Gebietskörperschaften in Deutschland flächendeckend eine getrennte Sammlung diverser Abfallfraktionen (Restabfälle, Bioabfälle, Leichtverpackungen / Wertstoffe sowie papierhaltige Fraktionen) im Holsystem an. Zudem betreibt die EVA noch 4 zentrale Wertstoffhöfe und ist zuständig für in der Nachsorge befindliche Deponien.

Es werden durch dieses ausgewogene Verhältnis an Bring- und Holsystemen anhaltend überdurchschnittliche Erfassungsquoten erzielt.

1.2 Ausgangssituation

Die EVA beschäftigt sich als MBA Betreiber seit Jahren intensiv mit den Möglichkeiten, die im Abfall enthaltenen Wertstoffe und die Energie sinnvoll und schadstoffarm zu nutzen. So werden aus dem Restmüll Eisen und Nichteisenmetalle entnommen und einer stofflichen Verwertung zugeführt. Zudem wird aus dem Abfall eine schadstoffarme heizwertreiche Fraktion gewonnen, die lokalen Kraftwerken als (Ersatz-) Brennstoff dient.

Es werden am Standort zudem jedes Jahr rund 2.200 MWh Sonnenstrom durch PV Anlagen erzeugt.

Die EVA GmbH betreibt seit 1997 eine MBA in Erbenschwang, die 2014 um eine EBS Anlage und 2019 um eine Vergärungsstufe erweitert wurde.

Im folgenden Fließschema ist die Technik vor 2019 abgebildet:

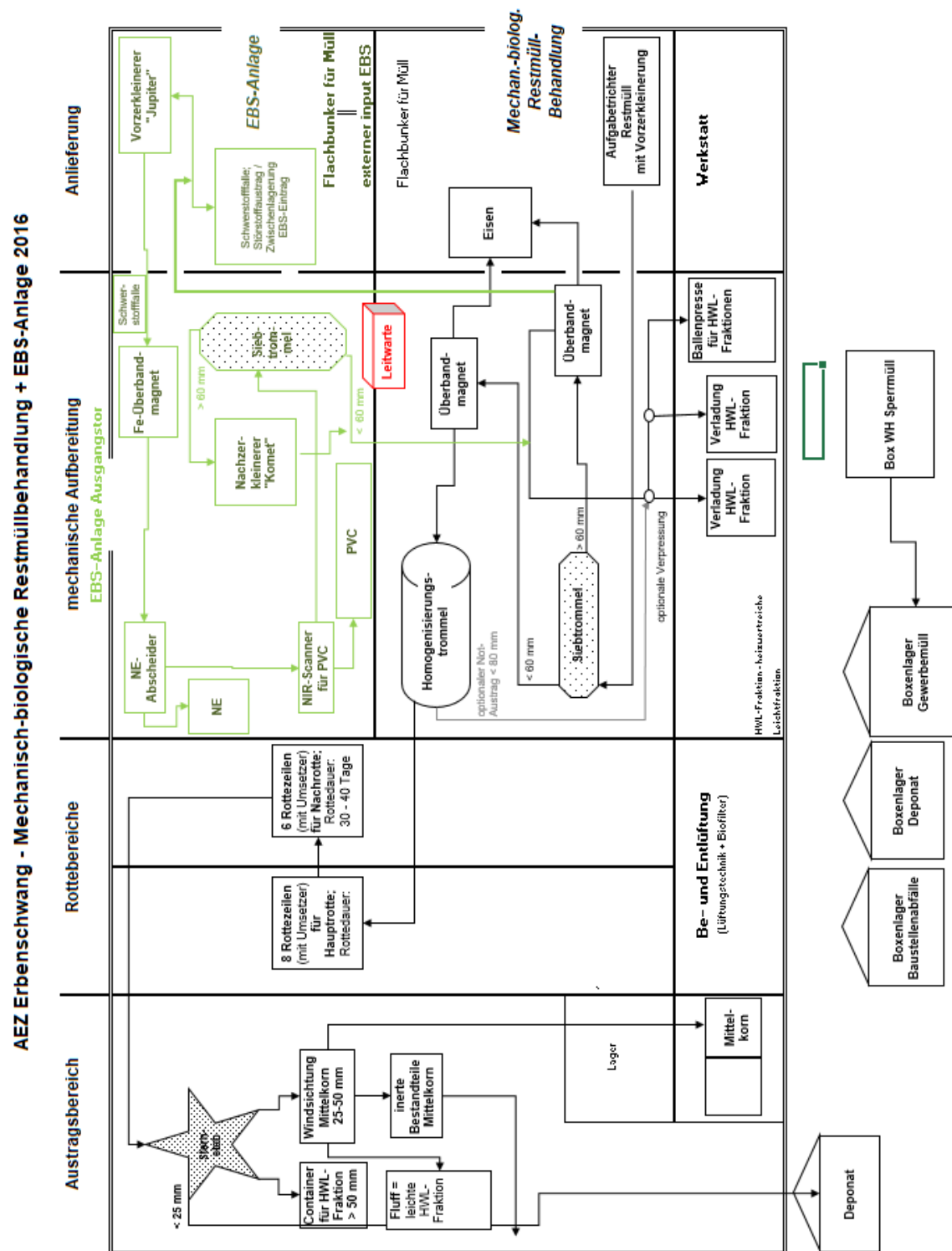


Abb. 1: Fließschema MBA Erbenschwang vor Erweiterung Presswasservergärung

Es werden pro Jahr ca. 33.000 Mg Restmüll aus den Landkreisen Bad Tölz Wolfratshausen und Weilheim Schongau verarbeitet.

Im Schnitt werden ca. 40 % des Gesamtinputs als Ersatzbrennstoffe einer energetischen Verwertung in der Papierindustrie und in einem Industriepark bei Augsburg zugeführt. Durchschnittlich ca. 10.000 Mg, also fast genau 30% des Gesamteintrags in die MBA, werden als Deponat auf der Deponie abgelagert.

Der Betrieb einer MBA ist energieaufwendig. Nach jahrelanger Erfahrung sind die Hauptenergieverbräuche in der Lüftungstechnik zu suchen.

Jahr	Fremdstrombezug (kWh)	Eigenstromproduktion	Stromverbrauch gesamt (kWh)	Eigenstromquote
2015	2.521.919	14.746	2.536.665	0,58%
2016	2.188.068	377.776	2.565.844	14,72%
2017	2.183.849	373.869	2.557.718	14,62%
2018	1.932.322	376.685	2.309.007	16,31%
2019	1.400.689	1.170.250	2.570.939	45,52%
2020	1.261.022	1.557.137	2.818.159	55,25%
2021	1.063.602	1.537.420	2.601.022	59,11%
Summe	12.551.471	5.407.883	17.959.354	

Abb. 2: Energieverbräuche vor 2019 mit PV Anlage Betriebsgebäude ohne Vergärung und Ringfundament, ab 2019 Betriebsgebäude mit Vergärung und Ringfundament

Nach dem Bau der EBS Anlage im Jahr 2014 lag der durchschnittliche Stromverbrauch bei ca. 2,6 Mio. kWh pro Jahr (s. Abb. 2). In der Abb. 2 kann nachvollzogen werden, wie die EVA GmbH ab 2015 kontinuierlich den Eigenstromanteil aus regenerativen Quellen erhöht. Schon in den frühen 10er Jahren rückte neben dem Bau von PV Anlagen auch die Frage der Eigenenergieversorgung aus den nativen Organik-Anteilen im Restmüll immer stärker in den Fokus der Überlegungen. Es war naheliegend, dass neben dem Bau von PV Anlagen am Standort auch die im Restmüll enthaltene Organik als eine wertvolle Ressource energetisch genutzt werden könnte, statt sie, wie bisher, mit hohem Energieaufwand in der Rotte aerob abzubauen.

Im Februar 2014 wurde von dem Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft und Energietechnik (IBA GmbH) eine Machbarkeitsstudie zur Nachrüstung der MBA Erbenschwang erstellt und das Gutachten „Vergärungsstufe in der Müllbeseitigungsanlage Ingenried, Ortsteil Erbenschwang“ vorgelegt, das zusammengefasst zu folgenden Ergebnissen führte:

- Die in der MBA Erbenschwang abgetrennte Feinfraktion weist hohe abbaubare Organikanteile auf, die in den Laboranalysen zu überdurchschnittlich hohen Biogaserträgen von über 150 Nm³/Mg führten.

- Bei dem gewählten Konzept der Teilstromvergärung in einer Trockenvergärungsanlage können bis zu 2,2 Mio m³ Biogas pro Jahr erzeugt werden. Bei der Verwertung des Biogases in einem BHKW werden daraus ca. 4,6 Mio kWh/a an Strom (Wirkungsgrad der Stromerzeugung im BHKW = 40 %) und ca. 5,2 Mio kWh/a an Wärme produziert (Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung = 45 %).
- Die Integration einer Vergärungsstufe in der MBA Erbenschwang ist technisch möglich. Die Anlage kann bei vergleichsweise geringem technischen Aufwand in den Bestand eingebunden werden.
- Der technischen Machbarkeit und den ökologischen Vorteilen auf der einen Seite stehen zusätzliche Investitionen und Mehrkosten gegenüber.
- Für die Erweiterung der MBA um eine Vergärungsstufe inkl. erforderlicher Nebenanlagen und Umbauten in der MBA ist eine Investitionssumme von ca. 7 Mio. € (inkl. Planung und Baufinanzierung) erforderlich. Je nach Festlegung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Einschätzung der Einsparungen in der Bestandsanlage führt die Vergärung zu Mehrkosten zwischen 0 und 15 €/Mg MBA-Eintrag.
- Bei konservativer Betrachtung wiegen die Erlöse und ersparten Aufwendungen die zusätzlichen Kosten nicht auf. Nur bei günstigeren Rahmenbedingungen ist die Vergärung kostenneutral zu realisieren. Bei weiter steigenden Energiekosten verringern sich die Zusatzkosten.
- Eine Verbesserung der ökonomischen Bewertung würde sich ergeben, wenn sich für die Verwertung der Energie aus der Restabfallvergärung höhere Erlöse erzielen ließen. Allein der Effekt einer Einspeisung des überschüssigen Stroms zu EEG-Konditionen würde zu umgerechnet ca. 5,- €/Mg MBA-Eintrag höheren Erlösen führen.
- Durch eine Gasaufbereitung und Einspeisung des Bioerdgases ins Erdgasnetz können je nach Verwertung des Bioerdgases an der Entnahmestelle zusätzliche Erlöse von 5-10 €/Mg MBA Eintrag realisiert werden. Dies gilt für den Fall, dass über Kooperationslösungen mit anderen Vergärungsanlagen genügend Biogas für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Gasaufbereitungsanlage gebündelt werden kann.
- Weitere Möglichkeiten zur Erhöhung der Biogasmengen liegen im Bereich des Wassermanagements. Bei Reduzierung des Wassergehaltes im Gärreaktor könnte der Anteil zur Vergärung erhöht und der Anteil Feinfraktion zur Nachrotte reduziert werden, da auf Grund der trockeneren Gärreste nicht mehr so viel Wasser in der Nachrotte verdampft werden müsste. Die hohen Trockensubstanzgehalte im Gärrest setzen neben dem Fließverhalten des Gärrestes eine bestimmte Reaktorform voraus. Diese Voraussetzungen werden zzt. jedoch nur von einem Verfahrensanbieter erfüllt.
- Eine andere Möglichkeit, den Wassergehalt der Gärreste vor Eintrag in die Nachrotte zu reduzieren, liegt in der thermischen Trocknung der Gärreste. Hierfür stehen verschiedene Trocknungsverfahren am Markt zur Verfügung, sie erfordern aber alle eine ausreichende Struktur der Gärreste, die z. B. durch die Entwässerung herbeigeführt werden müsste.

- Die grundsätzliche Eignung der Trocknersysteme und in Verbindung mit einer Entwässerung die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens gegenüber dem in der Studie dargestellten Konzept der Teilstromvergärung und biologischen Trocknung der Gärreste in der Nachrotte, wäre im Detail noch nachzuweisen.
- Verfahrenskombinationen, mit denen es gelingt, trockenere Gärreste für die Nachrotte bereitzustellen, reduzieren dadurch gleichzeitig die Flächenbelastung im Eintragsbereich der Nachrotte. Dies eröffnet ggf. Spielräume für die Mitbehandlung von Zusatzmengen und kann auch auf diesem Weg einen Beitrag zur Senkung der spezifischen Behandlungskosten leisten.
- Bei grundsätzlicher technischer Eignung der Vergärung und Gärrestnachbehandlung verbleibt die Abwägung zwischen den nachgewiesenen ökologischen Vorteilen und dem wirtschaftlichen Aufwand, der sich in der angegebenen Bandbreite von Mehraufwand und Erlös darstellen kann.
- In Anbetracht der insgesamt günstigen Voraussetzungen und der erwarteten positiven Auswirkungen auf den Betrieb der MBA Erbenschwang sowie der aufgezeigten technischen und wirtschaftlichen Optimierungspotenziale, wird empfohlen, die Optimierung der MBA durch Integration einer Vergärungsstufe weiterzuverfolgen. Dabei sollte die Einhaltung der wirtschaftlichen Ziele über eine genaue Prüfung der technischen Umsetzung und der realisierbaren Kosten in nachfolgenden Planungsschritten abgesichert werden.

Es folgten Richtpreisangebote auf der Grundlage des erarbeiteten Grundkonzeptes und ein intensiver Kontakt mit Anlagenbauern. Das Ergebnis war, dass der wirtschaftliche Betrieb einer Trockenvergärungsanlage nicht abschließend dargestellt werden konnte.

Zu dieser Sicht der Dinge führten v. a. zwei wesentliche Gründe:

- Die Wirtschaftlichkeit einer Trockenvergärungsanlage hängt auch ganz wesentlich vom Durchsatz ab. Da die MBA Erbenschwang nach Voruntersuchungen nur ein vergärbares Substrat von max. 18.000 Mg bis 23.000 Mg (Mittelwert ca. 21.000 Mg) bereitstellen konnte (siehe hierzu Abb. 3, Zeile „Eintrag BA“ = Eintrag Biologische Anlage), ist die Mindestdurchsatzmenge von 25.000 Mg bis 30.000 Mg als Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Trockenvergärung unter den Gegebenheiten unserer MBA nicht realisierbar. Bei der Etablierung eines Teilstromverfahrens hätte sich diese Menge auch nochmal um mind. 20% - 30% reduziert. Nach einer genaueren Stoffstrombetrachtung im Rahmen einer Bilanzierungskampagne gingen wir sogar von einem mittleren Wert von nur maximal 19.000 Mg vergärbarem Substrat aus.

MBA									
	AVV-Numm	Sorte	Herkunft	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Input gesamt			errechnet	33.382,85	33.808,52	30.439,56	33.419,07	32.863,73	32.875,12
MBA Fe	19 12 02	98	EMOS	686,10	611,95	540,66	672,95	664,85	663,91
Input EBS-Anlage			errechnet	10.415,40	10.109,18	10.023,80	12.102,26	13.567,87	12.838,57
Siebunterlauf (Eintrag MA, aber Austrag vor BA)	19 05 99	999	Emos	0,00	186,61	1.367,18			
Siebunterlauf (Eintrag MA und BA -> zu Eintrag BA)	19 05 99	999	Emos	0,00	186,61	1.367,18			
Eintrag BA			errechnet	22.785,28	23.087,39	19.875,10	20.643,86	18.631,01	19.372,64
Sternsieb HWL	19 12 10	189	Emos	2.415,39	2.465,25	1.617,65	1.674,15	1.084,49	2.158,59
Siebunterlauf	19 05 99	999	Emos	0,00	186,61	1.367,18			
Deponat MBA	19 05 99	56	Emos	11.083,49	11.138,16	9.688,82	10.296,36	9.532,23	7.002,09
Austrag Summe			errechnet	13.498,88	13.790,02	12.673,65	11.970,51	10.616,72	9.309,76
Differenz Eintrag BA - Austrag BA				9.286,40	9.297,37	7.201,45	8.673,35	8.014,29	10.062,88
Deponat/Eintrag BA			errechnet	48,64%	48,24%	48,75%	49,88%	51,16%	36,14%
Deponat/Gesamteintrag			errechnet	33,20%	32,94%	31,83%	30,81%	29,01%	21,30%
HWL_EBS/Gesamteintrag			errechnet	38,44%	37,19%	38,24%	41,22%	44,59%	45,62%
Summe Austrag / Eintrag BA			errechnet	59,24%	59,73%	63,77%	57,99%	56,98%	48,06%

Abb. 3: Stoffstrom MBA vor der Vergärung

- Als zweiten Grund sahen wir das Risiko, dass auch bei einer Teilstromvergärung die Umsetztechnik an seine Belastungsgrenzen geraten könnte, wenn wir die Wassergehalte und damit die Dichte des Substrats nicht bei 0,5 Mg/m³ begrenzen können, ohne die Teilmenge zu erhöhen, die nicht vergoren wird, bzw. alternativ durch Presstechnik einen Überschuss an Prozesswasser zu produzieren, der dann aufwändig entsorgt werden muss. In einer nachfolgenden Tunnelkompostierung spielt dieser Faktor eine geringere Rolle. In einem dynamischen Umsetzsystem darf dieser Aspekt jedoch nicht unterschätzt werden.

Aufgrund der oben beschriebenen schwierigen Ausgangsposition suchte die EVA GmbH nach Alternativen zur Nutzbarmachung der im Restabfall enthaltenen Energie und begann im Jahr 2015, sich für das von der Sutco Recycling Technik für Bioabfall entwickelte Verfahren EnBV zu interessieren.

Die Sutco Recycling Technik hat im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungs-Vorhabens „EnBV“ FKZ 0327846“ ein neues Verfahren zur Vergärung einer aus Bioabfall abgepressten Flüssigphase entwickelt. Das FuE-Vorhaben, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, wurde im Verbund mit der Entsorgungsgesellschaft Westmünsterland (EGW) und der Universität Duisburg-Essen im Zeitraum von 2009 bis 2015 durchgeführt.

Die Preßwasservergärung wurde in der Anlage der EGW in Gescher 2014 und 2015 unter realen Bedingungen eines großtechnischen Regelbetriebes getestet und optimiert.

Dieses im zuvor genannten Projekt für Bioabfall entwickelte Verfahren sollte nun in der MBA der EVA GmbH auf den Restabfall aus der grauen Tonne angewendet werden. Dazu wurde in der Gesamtkonzeption der Anlage versucht, der inhomogenen Zusammensetzung und den Störstoffen, also den spezifischen Bedingungen des Substrats Restmüll gerecht zu werden. Als Grundkonzeption wurden 5 Stahlbehälter (1 Vorlage, 2 Biofilmfermenter, 2 Nachfermenter) vorgesehen, die v.a. neben ihren spezifischen Aufgaben im Prozess auch eine stufenweise Abscheidung der Mineralik sicherstellen sollten (siehe Abb. 4).

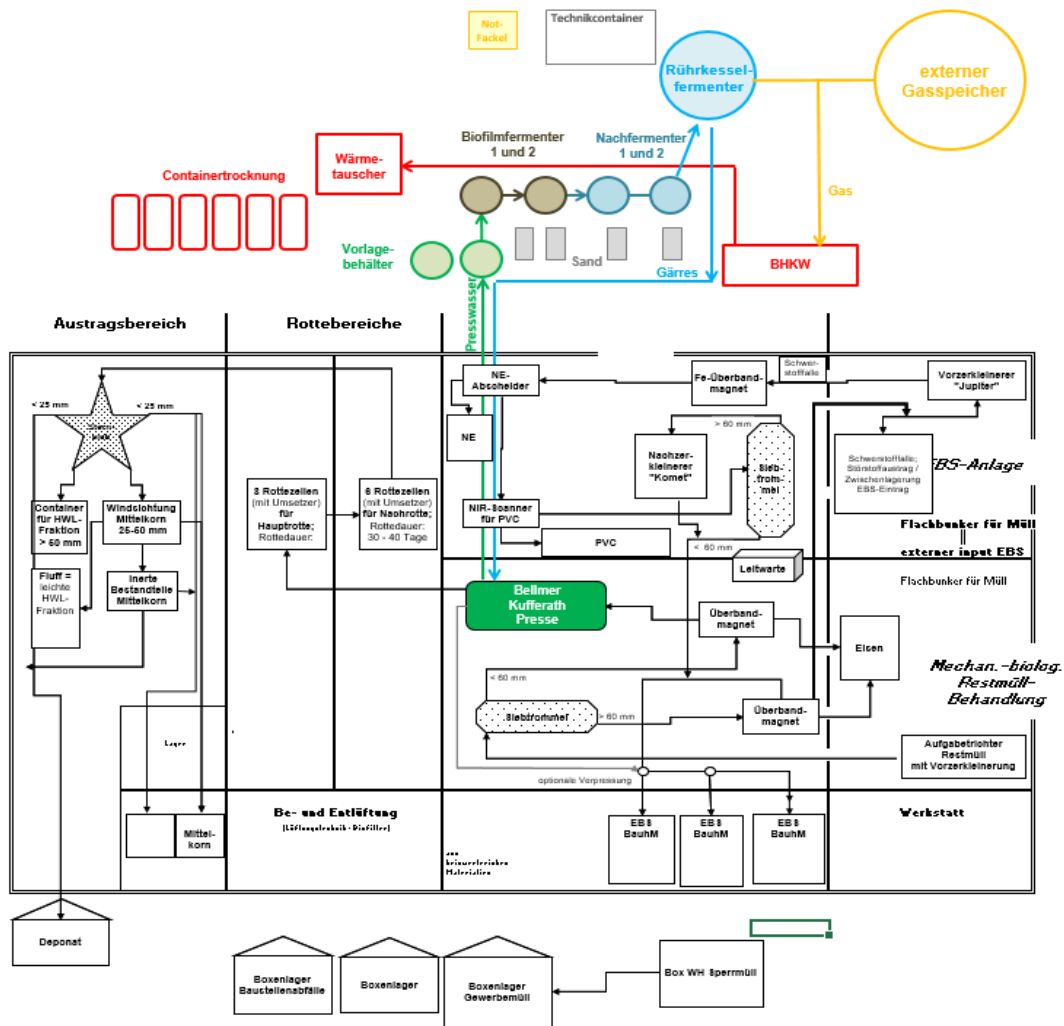


Abb. 4: Fließschema MBA / EBS-Aufbereitung / Vergärung

Neben Strom und Wärme aus Biogas und EBS kann auch die Verwendung des Biogas zur Stützfeuerung der regenerativen thermischen Oxidationsanlagen (RTO) vorgesehen werden. Dieses Ziel wird auf Grund der noch zu geringen Gasausbeute der Presswasservergärung, der hohen qualitativen Anforderungen an das Biogas und dem sehr großen Umbaufwand an den RTOs momentan nicht verfolgt.

2 Vorhabenumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Ziel des entwickelten Verfahrens war es, mit geringem technischem Aufwand eine möglichst maximale Gasausbeute aus der aus dem Restabfall abgepressten Flüssigphase durch Vergärung in Biofilmreaktoren zu erzielen. Grundvoraussetzung war dabei die Vermeidung von extern zu entsorgenden Gärresten.

In dem durchgeführten Vorhaben war zu prüfen, wie das Verfahren mit diesem Input-Stoff grundsätzlich funktioniert bzw. welche Anpassungsarbeiten der Anlagentechnik und der Prozessführung für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb erforderlich sind.

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Bei dem Verfahren erfolgt im ersten Schritt eine Abtrennung des Materials < 60 mm. Dieses Material wird anschließend einer Presse der Firma Bellmer Kufferath (siehe Abbildung 5) zugeführt. Unter gleichzeitiger Zugabe von rückgeführtem Gärrest sowie Prozesswasser aus der Intensivrotte werden die im Abfall enthaltenen organischen Stoffe in der Presse ausgewaschen. Im Kompressionsteil der Presse erfolgt eine Entwässerung des Abfalls, wobei die flüssige Phase, das sogenannte Presswasser, der Anaerobstufe zugeführt wird, während der entwässerte Abfall, der sogenannte Presskuchen, zur Rotte transportiert und dort aerob-biologisch behandelt wird. Die Entwässerung erfolgt über einen Siebkorb, wobei Siebkörbe unterschiedlicher Lochdurchmesser eingesetzt werden können.



Abb. 5: Schneckenpresse der Fa. Bellmer-Kufferath

Der Gärrest aus der Nassvergärung des Restabfallpresswassers wird als Flüssigkeit zum Abpressen der Frischabfalls eingesetzt.

Die Vergärungsanlage in Erbenschwang wurde auf Grundlage der Erfahrungen aus Gescher für die Behandlung von Restabfällen geplant und errichtet. Die biologische Stufe besteht aus einem bzw. seit Mai 2021 aus zwei Vorlagebehältern, zwei Festbettfermentern (BF1 und BF2), zwei sogenannten Nachfermentern (NF1 und NF2) und einem nachgeschalteten Rührkesselfermenter (RKF). Die beiden Nachfermenter werden parallel, alle anderen Fermenter in Reihe betrieben. Wie bei der Anlage in Gescher so wird wie bereits beschrieben auch in Erbenschwang der den Rührkesselfermenter verlassende Gärrest der Presse wieder zugeführt, so dass auch bei dieser Anlage kein überschüssiges Abwasser anfällt, eine wichtige Voraussetzung für die Vergärung von Biomasse aus Restmüll. Das Biogas wird in einem Gasbehälter gespeichert und in einem BHKW mit vorgeschaltetem Aktivkohlefilter verwertet.

Die Anlage wurde auf eine Abfallmenge (Input Presse) von 15 Mg/h ausgelegt.

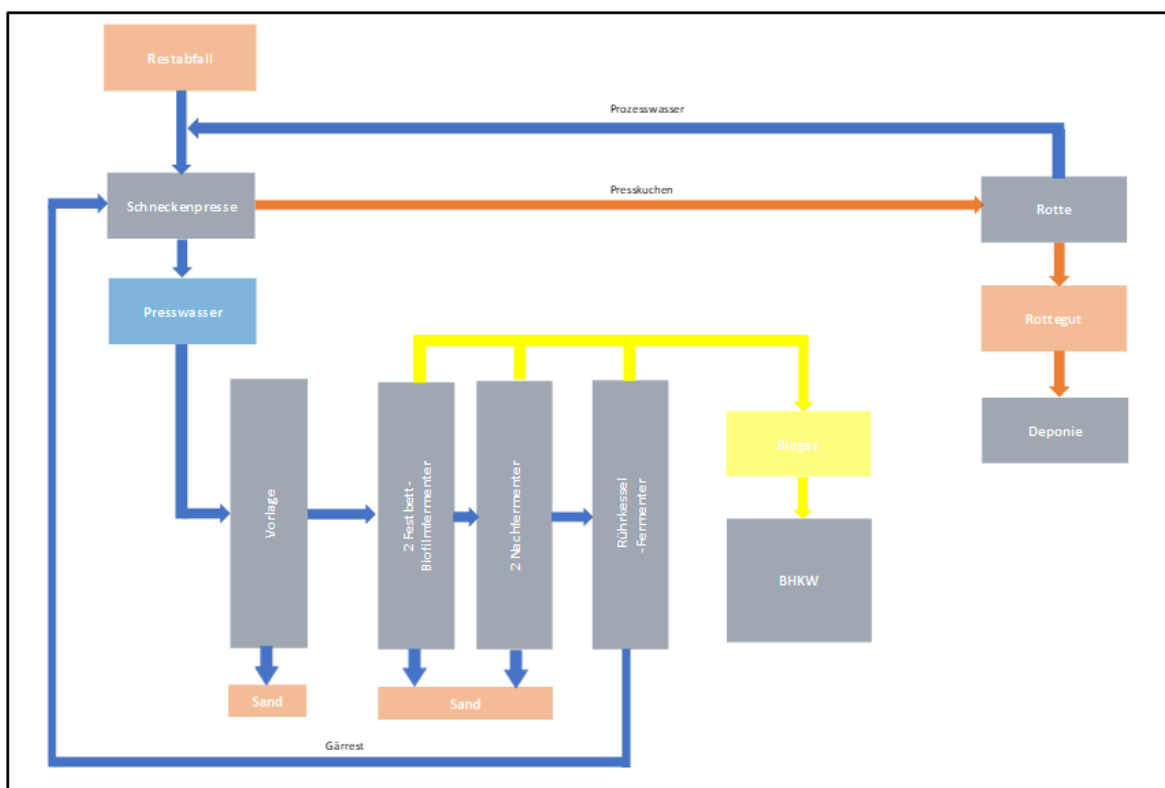


Abb. 6: Fließschema der Vergärungsanlage in Erbenschwang



Abb. 7: Vergärungsanlage in Erbenschwang mit Vorlagebehälter, 2 Festbettfermenter, 2 Nachfermentern und dem nachgeschalteten Rührkesselfermenter (rechts)

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Die Planung der neuen Anlage erfolgte auf Basis der Ergebnisse des Projektes zur Entwicklung des EnBV-Verfahrens als Teil einer Bioabfallkompostierung in Gescher. Während es sich bei der Anlage in Gescher um einer Bioabfallkompostierung handelte, sollte das Verfahren nun erstmalig als Teil einer MBA eingesetzt werden. Zur Prüfung einzelner Details der abschließend entwickelten Anlagen wurden Besichtigungen in Gescher durchgeführt. Auf Grundlage der Erfahrungen aus Gescher erfolgte die Planung und bautechnische Umsetzung der Vergärungsanlage für Restabfälle am Standort der MBA in Erbenschwang. Eine wesentliche Aufgabenstellung bestand dabei auch in der Integration der Vergärung in die bestehende MBA.

Aufgrund eines schneereichen Winters im Januar 2019 verzögerten sich die Bau- und Montagearbeiten. Ende März 2019 konnten die Montagearbeiten und die Kaltinbetriebnahme abgeschlossen werden, so dass Anfang April 2019 der Erprobungsbetrieb der Anlage startete. Dazu wurden die Behälter mit Impf-Substrat aus einer anderen in der Nachbarschaft befindlichen Vergärungsanlage befüllt. Ebenfalls wurde über die Schneckenpresse erstmals Presswasser erzeugt. Dieses wurde dann bis zur vollständigen Adaption der Bakterienstämme in steigenden Mengen dem Impfsupstrat zugegeben.

Nach erfolgter Anpassung der Biologie wurde eine regelmäßige Presswasserzugabe eingestellt. Gleichzeitig wurde mit der Kreislaufführung des Gärrestes aus dem Rührkesselfermenter (RKF) begonnen, welches als Elutionsmedium in die Presse auf das Substrat gegeben wird. Die wissenschaftliche Begleitung der Universität Rostock startete zeitgleich zum Erprobungsbetrieb.

Anfang Mai 2019 war die Biogasproduktion mengen- und qualitätsmäßig gut genug, um das BHKW in Betrieb zu nehmen. Gleichzeitig wurde die Trocknungsstation für die EBS in Betrieb genommen. Es zeigte sich, dass die Wärmeabnahme noch nicht optimal verlief. Die Vermutung, dass zu wenig Luft im Zuluftkanal des Ventilators angesaugt wurde, bestätigte sich im Laufe des Sommers 2019. Es erfolgte eine Optimierung der Zuluftführung.

Immer wieder wurden schon in der Anfangsphase auch hohe Schwefelwasserstoffwerte im Biogas bis zu Konzentrationen von 3.500 ppm festgestellt. Es war davon auszugehen, dass der Schwefelwasserstoff durch Schwefelverbindungen in den sehr heterogenen Abfällen in das Biogas gelangt. Haupteintragsquelle vermuten wir Gipsbestandteile im Restmüll. Zur Reduzierung der H₂S-Konzentration im Biogas erfolgte eine zusätzliche Dosierung von Eisenhydroxid.

Am Anfang wurden Suspensionen mit dem Produkt FerroSorp DG_μ hergestellt und an verschiedenen Stellen (Biofilmfermenter, Nachfermenter und RKF) dem Prozess zugeführt. Eine eindeutige Wirkung an den verschiedenen Dosierstellen konnte nicht ermittelt werden. Nach Rücksprache mit dem Lieferanten wurde eine Dosierung in die Vorlage bzw. in das Presswasser empfohlen. Dies wurde umgesetzt und brachte erste Erfolge. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wurde im weiteren Verlauf auf das Produkt FerroSorp DGf-Tz umgestiegen. In Kombination mit dem Aktivkohlefilter wurden zwar vor dem BHKW H₂S-Werte <1 ppm erreicht, allerdings musste der Aktivkohlefilter ca. alle 400 bis 600 Betriebsstunden gewechselt werden. Generell kann festgestellt werden, daß in Restmüllsubstraten mit hohen Schwefelwasserstoffwerten zu rechnen ist und wirkungsvolle Konzepte zum Schutz vor Korrosion in den Fermentern, aber auch im BHKW entwickelt werden müssen. Dieses Thema wurde in der Projektierung der Anlage unterschätzt. Die hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen waren auch der Grund zur Installation einer weiteren biologischen Entschwefelungsstufe in Form eines Biofilters der Fa. Züblin. Da die chargenweise Dosierung keine zufriedenstellende und dauerhafte Reduzierung von Schwefelwasserstoff bewirkte, wurde die Eisenhydroxid-Zugabe weiter optimiert. Die Suspension wird nun seit März 2020 aus einem Lagerbehälter kontinuierlich über eine Schlauchpumpe hinter der Schneckenpresse dem Presswasser zugeführt. Durch die Zudosierung des Eisenhydroxids wird bereits vor dem Aktivkohlefilter eine H₂S-Konzentration von < 2 ppm erreicht, welches zu deutlich höheren Standzeiten des Aktivkohlefilters von durchschnittlich 2.000 Betriebsstunden führt.

Am 01.10.2019 erfolgte die Abnahme der Generalunternehmerleistungen von der Fa. SUTCO.

Im Rahmen der Betriebsoptimierung stellte sich heraus, dass eine Steuerung der Wasserzugabe zur Presse ohne die genaue Kenntnis der zugeführten Abfallmenge nur unzureichend möglich ist. Aufgrund dessen wurde im November 2020 eine Bandwaage zur Messung der Abfallmenge installiert und in Betrieb genommen. So trivial es klingen mag, aber vorher wurde über die Bandbelegung das Wasser zudosiert. Dies kann aber eine Dosierung auf gravimetrischer Grundlage nicht ersetzen!

Während der Betriebsphase wurde deutlich, dass das Nutzvolumen des vorhandenen Vorlagebehälters von 45 m³ für einen kontinuierlich gleichmäßigen Betrieb der Anaerobanlage auch über das Wochenende zu gering war. Da in der Anlage an den Wochenenden, an Feiertagen oder auch bei Wartungen zentraler Aggregate kein Abfall verarbeitet wird, kommt es zu einer stark reduzierten Beschickung der Vergärung mit Substrat. Die Bakterien reagieren empfindlich auf diese Mangelernährung mit der Folge, dass die Gasproduktion regelmäßig stark zurückgeht. Dieser Rückgang kann aber nicht dem eigentlichen Verfahren angelastet werden, sondern sind Folge der Verknüpfung und Abhängigkeit zum mechanischen Anlagenbetrieb der mechanisch biologischen Restabfallbehandlung, in die die Substratgewinnung integriert wurde. Vor allem die regelmäßige Wartung der Zerkleinerer führt zu Stillständen, die 3 bis 4 Tage andauern, in denen kein Substrat der Anlage zugeführt werden kann. Dies ist Folge der engen Verzahnung der Anlagen.

Damit auch bei diesen wiederkehrenden Stillständen die Vergärung kontinuierlich mit Substrat beschickt werden kann, wurde im Frühjahr 2021 ein weiterer Vorlagebehälter installiert und in Betrieb genommen. Der neue Vorlagebehälter verfügt ebenfalls über ein Nutzvolumen von 45 m³. Im Gegensatz zu dem bereits vorhandenen Vorlagebehälter wurde der neue Behälter mit einer Einrichtung zur Entnahme von Schwimmstoffen ausgerüstet. Damit soll sichergestellt werden, dass z. B. aufschwimmendes Styropor abgeschöpft werden kann.

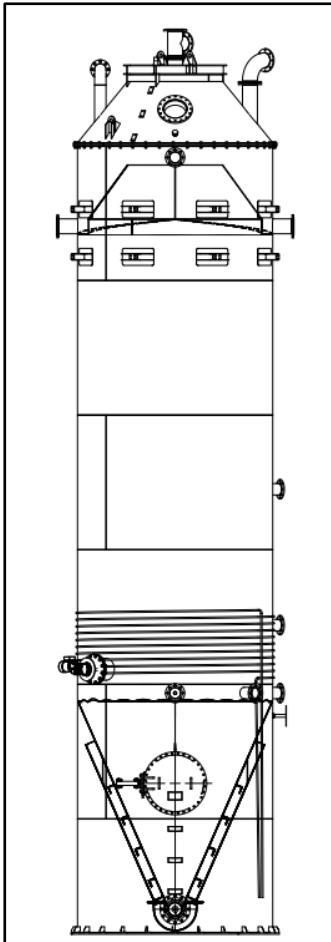


Abb. 8: Skizze des neuen Vorlagebehälters

Seit der Inbetriebnahme des neuen Behälters konnte der Durchsatz der Anlage gemäß den Aufzeichnungen der Bandwaage um 15 % gesteigert werden. Die produzierte Gasmenge erhöhte sich proportional zur Abfallmenge (siehe hierzu auch Kapitel 3). Nach den vorliegenden Erfahrungen wird auch die Installation eines dritten Vorlagebehälters diskutiert.

Die Ausführungen machen deutlich, dass eine einfache Übertragung der Technik einer Presswasservergärung mit Biomüll als Substrat auf Restmüll nicht möglich ist. Die Eigenheiten des Restmülls als Substrat sind verfahrenstechnisch zu berücksichtigen. Bei der Neukonzeption einer Anlage kann dem leichter Rechnung getragen werden als im Bestand. Zusammenfassend sind folgende anlagentechnischen Optimierungen seit Inbetriebnahme der Anlage vorgenommen worden:

- Nachrüstung FeOH-Dosierung
- Nachrüstung eines biologischen Entschwefelungsfilters BioBF der Fa. Züblin
- Optimierung Gaskonditionierung BHKW
- Nachrüstung Gasanalyse zur Überwachung der biologischen Entschwefelung
- Steuerungstechnische Optimierung der EBS-Trocknung
- Installation und Inbetriebnahme einer Bandwaage zur Messung der zugeführten Abfallmenge (< 60 mm), Einbindung der Bandwaage in die Steuerung

- Errichtung und Inbetriebnahme eines zusätzlichen Vorlagebehälters inkl. Schwimmschlammabzug
- Nachrüstung von Lanzen zur Zuführung von Entschäumungsmittel

2.4 Behördliche Anforderungen - Genehmigung nach § 16 BImSchG

Das Vorhaben bedurfte einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach § 16 Abs. 1 BImSchG. Es handelt sich um eine wesentliche Änderung des Betriebs einer genehmigungsbedürftigen Anlage (Anlage zur biologischen Behandlung von nicht gefährlichen Abfällen mit einer Durchsatzleistung von 50 Mg Abfällen oder mehr je Tag) durch die nachteilige Auswirkungen hervorgerufen werden können. Die Änderung der nach Nr. 8.6.2. 1 des Anhang 1 zu § 1 der 4. BImSchG genehmigten Anlage bedarf einer Genehmigung nach § 16 BImSchG, welche im förmlichen Verfahren zu erteilen ist (§ 2 Abs. 1 Satz 1 Nr. 1 Buchstabe a) der 4. BImSchV i. V. m. § 10 BImSchG i. V. m. der 9. Bundes-Immissionsschutzverordnung).

Gemäß § 16 Abs. 2 BImSchG soll die zuständige Behörde von der öffentlichen Bekanntmachung des Vorhabens sowie der Auslegung des Antrags und der Unterlagen absehen, wenn der Träger des Vorhabens dies beantragt und erhebliche nachteilige Auswirkungen auf die in § 1 BImSchG genannten Schutzgüter nicht zu besorgen sind.

Die entsprechende Prüfung des Antrags auf Verzicht der Öffentlichkeitsbeteiligung durch die Genehmigungsbehörde hat ergeben, dass die im Ermessen der Behörde liegenden Entscheidung im Sinne des Antragstellers getroffen werden konnte, da erhebliche nachteilige Auswirkungen auf die Schutzgüter Mensch, Tier, Pflanzen, Boden, Wasser und sonstige Sachgüter nicht zu besorgen sind. Dem Antrag auf Verzicht der Beteiligung der Öffentlichkeit war somit stattzugeben. Von der öffentlichen Auslegung des Vorhabens wurde abgesehen.

Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung für das Vorhaben war zu erteilen, weil unter Berücksichtigung der Anforderungen unter Buchstabe C. des Bescheides gewährleistet ist, dass die Genehmigungsvoraussetzungen der §§ 5 und 6 BImSchG und die sich aus den Rechtsverordnungen gemäß § 7 BImSchG ergebenden Pflichten erfüllt werden.

Es ist sichergestellt, dass

- schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können,
- Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen,

- Abfälle vermieden, nicht zu vermeidende Abfälle verwertet und nicht zu verwertende Abfälle ohne Beeinträchtigung des Wohl der Allgemeinheit beseitigt werden und
- Energie sparsam und effizient verwendet wird (§ 6 Nr. 1 BImSchG i. v. § 5 Abs. 1 BImSchG). Der Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor Immissionen ist gewährleistet. Andere öffentlich-rechtliche Vorschriften und Belange des Arbeitsschutzes stehen der Errichtung und dem Betrieb der Anlage nicht entgegen (§ 6 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG).

Dies ist aus den Stellungnahmen der beteiligten Behörden ersichtlich, die bei plan- und beschreibungsgemäßer Ausführung der Anlage sowie bei Festsetzung der vorgeschlagenen Nebenbestimmungen keine Einwendungen erhoben haben. Die Festsetzung der Nebenbestimmungen beruht auf den §§ 6 und 12 BImSchG.

Die Nebenbestimmungen sind erforderlich und geeignet, um ein möglichst hohes Maß an Sicherheit für die bei der Anlage Beschäftigten und die Bewohner im Einwirkungsbereich der Anlage zu gewährleisten und schädlichen Umwelteinwirkungen (§ 3 Abs. 1 BImSchG) vorzubeugen (§ 5 BImSchG). Die mit der Erfüllung dieser Nebenbestimmungen verbundenen Aufwendungen sind deshalb für den Antragsteller zumutbar und verhältnismäßig. Die Genehmigung schließt gemäß § 13 BImSchG andere die Anlage betreffende behördliche Entscheidungen ein, insbesondere öffentlich-rechtliche Genehmigungen, Zulassungen, Verleihungen, Erlaubnisse und Bewilligungen mit Ausnahme von Planfeststellungen, Zulassung bergrechtlicher Betriebspläne, behördlichen Entscheidungen auf Grund atomrechtlicher Vorschriften und wasserrechtlicher Erlaubnisse und Bewilligungen nach den §§ 7 und 8 des Wasserhaushaltsgesetzes.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Folgende Betriebsdaten wurden seit Inbetriebnahme der Anlage erfasst:

Parameter	Art der Messung	Häufigkeit
Abfallinput Presse	bis 11/2020 Abschätzung über Anlageninput, ab 12/2020 Bandwaage	kontinuierlich
Presswassermenge	IDM	kontinuierlich
Fütterungsmenge	IDM	kontinuierlich
Gärrestmenge	IDM	kontinuierlich
Prozesswassermenge	IDM	kontinuierlich
Reaktortemperaturen	Temperatur-Sonde	kontinuierlich
Biogasmengen		kontinuierlich
Biogasqualitäten (CH ₄ , H ₂ S)	Prenowa-Messsystem	kontinuierlich, zusätzlich Handmessungen
Sandabzug aus den Reaktoren	Abschätzung über Volumen	bei Sandabzug
Zusammensetzung Abfallinput (TR, oTR)	Probenahme und Bestimmung im Labor	insgesamt 10 Bestimmungen
Zusammensetzung Presskuchen (TR, oTR)	Probenahme und Bestimmung im Labor	insgesamt 10 Bestimmungen
Qualität Presswasser (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Vorlagebehälter (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Biofilmfermenter 1 (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Biofilmfermenter 2 (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Nachfermenter 1 (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Nachfermenter 2 (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Output Rührkesselfermenter (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Qualität Prozesswasser (TR, oTR, pH-Wert, el. Leitfähigkeit, FOS/TAC, DOC, TC, TNb, NH ₄)	Probenahme und Bestimmung im Labor	wöchentlich bis 12/2020, danach 14-tägig
Erzeugte elektrische Energie	Zähler	kontinuierlich
Erzeugte Wärme	Wärmemengenzähler	kontinuierlich

Die Anlage verfügt über zahlreiche fest installierte Durchfluss- und Temperaturmessungen. Zusätzlich werden die Energiemengen (elektrische Energie, erzeugte Wärmeenergie) sowie die Zusammensetzung des erzeugten Biogases kontinuierlich über installierte Messsysteme erfasst. Um die einzelnen Prozesse genau beurteilen zu können, wurden im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wöchentlich bzw. zweiwöchentlich Proben vom Substrat an unterschiedlichen Stellen (Presswasseraustritt Presse, Probenahmestutzen der Behälter bzw. Reaktoren) entnommen. Zusätzlich erfolgten Beprobungen des zugegebenen Abfalls sowie des Presskuchens. Die Proben wurden im Wesentlichen bezüglich der Feststoffgehalte, der organischen Stoffe sowie der Nährstoffe im Labor analysiert.

Neben der Aufnahme und Auswertung der Betriebsdaten wurden Versuchsreihen zur Untersuchung von Pressdruck, Drehzahl der Presse, Siebkorblochung, Zugabe von Wasser (Prozesswasser, Gärrest) zur Elution der organischen Stoffe in der Schneckenpresse durchgeführt (Ergebnisse siehe Kapitel 3).

3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielführung

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Während der bisherigen Betriebszeit konnte die Anlage mit dem untersuchten Verfahren stabil betrieben werden. Seit Inbetriebnahme wurde der Schneckenpresse eine Abfallmenge von durchschnittlich ca. 255 Mg/Woche zugeführt.

Daraus wurden durchschnittlich ca. 6.400 m³ Biogas pro Woche erzeugt, wobei der Median bei ca. 6.200 m³, das 25%-Quantil bei ca. 5.000 m³ und das 75%-Quantil bei ca. 7.000 m³ lagen. Bezieht man den Biogasertrag auf die der Presse zugeführte Abfallmenge, so liegt dieser im Mittel bei 24 m³/Mg Abfall, bei einem Median von 25 m³/Mg Abfall. Das 25%-Quantil liegt bei 21 m³/Mg und das 75%-Quantil bei 27 m³/Mg. Bei einem durchschnittlichen Methangehalt von 58 % entsprechen die 25 m³/Mg einer Energiemenge von 145 kWh/Mg.

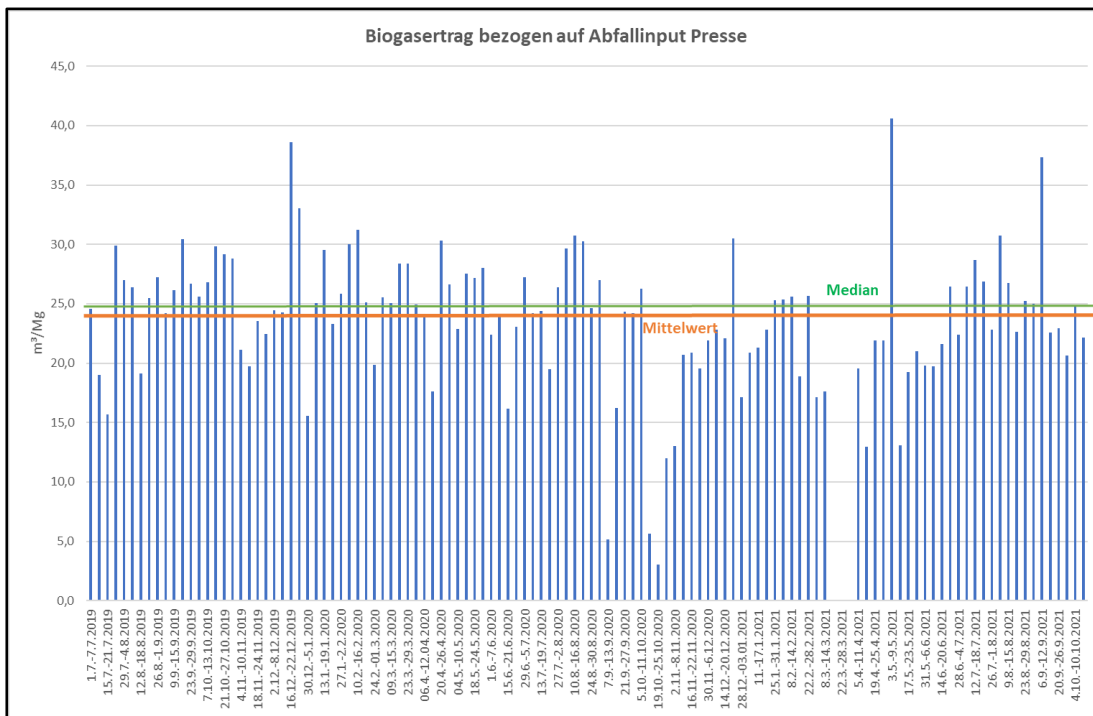


Abb. 9: Biogasertrag bezogen auf Abfallinput der Presse

Der spezifische Biogasertrag ist verglichen mit den Ergebnissen von Vorversuchen sehr gering. Die Ursache hierfür liegt aber nicht im anaeroben Teilprozess, sondern darin, dass in der Schneckenpresse eine zu geringe organische Fracht in das der Anaerobstufe zugeführte Presswasser eingetragen wird. So gelangten von der im Abfall enthaltenen anaerob abbaubaren Organik, gemessen als Gaspotenzial (GB21), nur ca. 25 % in das Presswasser. Der überwiegende Anteil verlässt die Schneckenpresse über den Presskuchen und gelangt so zur Rotte. Nach den bisherigen Erkenntnissen gehen wir ganz stark davon aus, dass die Erhöhung der Kontaktzeit zwischen Substrat und Gärrest eine deutliche Erhöhung der DOC Auswaschung und damit der Gasproduktion zur Folge hat. Leider sind die Vorortverhältnisse für eine entsprechende technische Anpassung im Bestand sehr schwierig.

Wie bereits beschrieben wurden zur Optimierung der Presse verschiedene Versuchsreihen zum Einfluss der Siebkorbblockung, des Pressdruckes sowie der zugegebenen Wassermengen durchgeführt. Bzgl. der Siebkorbblockung konnte dabei kein signifikanter Einfluss festgestellt werden. Obwohl die bisherigen Betriebsdaten dies nicht zeigen, ist grundsätzlich zu erwarten, dass bei einer größeren Siebkorbblockung mehr organisches Material über das Presswasser in die anaeroben Reaktoren gelangt. Bei einer größeren Lochung ist jedoch auch ein erhöhter Anteil an Störstoffen im Presswasser zu erwarten. Da diese Störstoffe zu Betriebsproblemen führen können, wurde von Seiten der Betriebsverantwortlichen von dem Einbau eines größeren Siebes bisher abgesehen.

Zum Pressdruck konnte festgehalten werden, dass bei einem Pressdruck von 4 bis 4,5 bar die maximale DOC-Konzentration im Presswasser erreicht wird. Die bisherigen Betriebserfahrungen zeigen auch, dass diese Einstellungen auch aus Verschleißgründen geeignet sind.

Zu den Mengenverhältnisse von rückgeführtem Gärrest sowie zugeführtem Prozesswasser wurde ebenfalls eine separate Versuchsreihe durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass durch eine größere Wasserzugabe zur Schneckenpresse eine höhere organische Fracht aus dem Abfall in das Presswasser ausgetragen werden kann. Auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse sollte eine Wassermenge von mindestens 800 bis 1.000 l pro Mg Abfall der Presse zugegeben werden. Das Wassermanagement sollte dabei so gestaltet werden, dass immer ausreichende Mengen an Gärrest und Prozesswasser verfügbar sind. Wenn möglich, kann die Wasserzugabe zur Presse weiter erhöht werden.

Des Weiteren war die Frage zu klären, inwieweit die Zugabe des im Vergleich zum Gärrest geringer belasteten Prozesswassers die Gasproduktion positiv beeinflusst. Im Rahmen der durchgeführten Versuche konnte jedoch ein Einfluss des Prozesswasseranteils auf den spezifischen Gasertrag nicht nachgewiesen werden.

Trotz verschiedener Optimierungsversuche, wie z. B. der Erhöhung der zugeführten Wassermenge, der Variation des Pressdruck sowie der Lochung des Siebkorbs, war es nicht möglich, die Gasausbeute relevant zu verbessern. Die geringe Gasausbeute stellt die wesentliche Schwachstelle des Verfahrens im Vergleich zu anderen Verfahren dar. Durch eine Erhöhung der Kontaktzeit zwischen Abfall und dem zugeführten Wasser könnte die „Auswaschung“ der organischen Stoffe verbessert werden. Dies könnte bei einer anderen MBA in Form einer Hydrolysestufe oder eventuell auch durch konstruktive Veränderungen der Schneckenpresse erreicht werden. Ende September 2022 wurde die BK Presse umgebaut um die Kontaktzeit zwischen Abfall und Kreislaufwasser zu erhöhen. Die ersten Ergebnisse sind sehr erfolgsversprechend. Wir konnten in den ersten Tagen nach dem Umbau den Gasertrag um 30% steigern. Ob die Steigerung des Gasertrags alleine auf den Umbau zurückzuführen ist oder sich überlagernde Effekte, wie ein zufällig hinsichtlich des Gaspotentials besseres Substrat, die Ergebnisse positiv beeinflussen, kann noch nicht gesagt werden. Über gesicherte Werte werden wir erst in den nächsten Wochen verfügen.

Ein wesentlicher Vorteil des Verfahrens besteht in den vergleichsweise kleinen Reaktorvolumina, da die organischen Inhaltstoffe zu einem wesentlichen Anteil in die flüssige Phase überführt werden und somit nur ein vergleichsweise geringer Volumenstrom anaerob behandelt werden muss. Das Verfahren lässt sich somit sehr gut in vorhandene MBAs mit aeroben Stufen integrieren.

Nach den bisherigen Ergebnissen ist davon auszugehen, dass der eigentliche Biogasprozess stabil verläuft und nur noch geringe Optimierungspotenziale bestehen. Während der bisherigen Betriebsphase lag die durchschnittliche über das Presswasser dem anaeroben Prozess zugeführte DOC-Fracht bei durchschnittlich ca. 1.920 kg pro Woche. Davon wurden im Mittel ca. 1.400 kg DOC abgebaut, das entspricht einem Anteil von ca. 73 %. Pro kg abgebauten DOC wurden ca. 3,2 m³ an Biogas erzeugt. Dies liegt über dem stöchiometrisch errechneten Wert von ca. 2 m³/kg. Dies bedeutet, dass neben dem gelöst vorliegenden DOC noch weitere partikulär vorliegende organische Stoffe zu Biogas umgesetzt werden.

Aufgrund der guten Gasproduktion, bezogen auf den DOC, ist davon auszugehen, dass eine Erhöhung der Biogasproduktion im Wesentlichen durch Maßnahmen im Bereich der Presse, nicht jedoch im Bereich des Anaerobprozesses erreicht werden kann. Wir werden an dieser Stelle weitere Optimierungsmaßnahmen durchführen.

Der gute Abbau wird auch durch die in den jeweiligen Reaktoren gemessenen DOC-Konzentrationen bestätigt. So findet nach den beiden Biofilmfermentern nur noch ein geringer Abbau des DOC statt, wobei dieser im Rührkesselfermenter nochmal geringfügig steigt. Resultierend aus der Animpfung über die Zugabe von Gärrest erfolgt bereits in dem Vorlagebehälter ein Abbau.

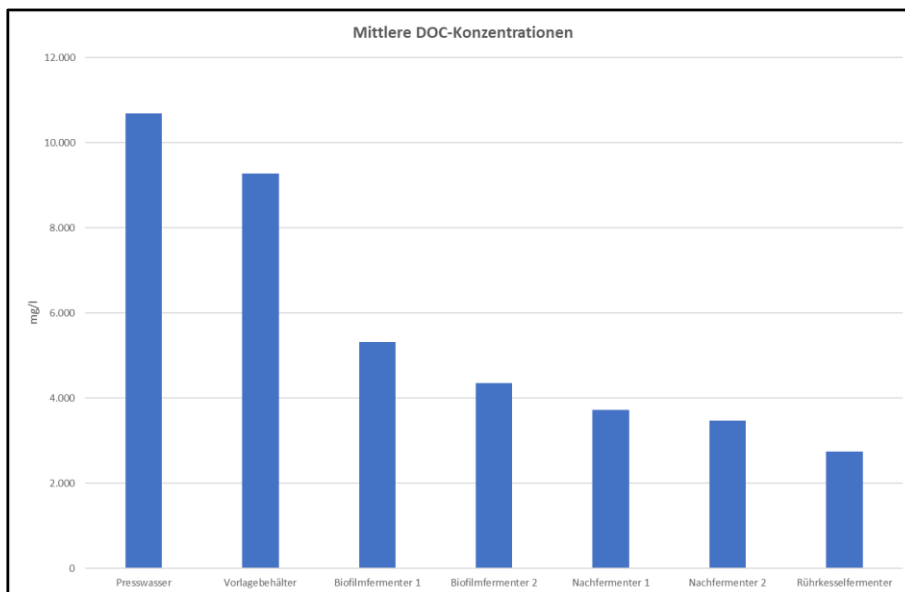


Abb. 10: DOC-Konzentrationen im Presswasser sowie in den Reaktoren

Im Rahmen des bisherigen Betriebs konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, den Prozess abwasserfrei zu betreiben. Es besteht sogar ein Wasserbedarf von ca. 100 l pro Mg Abfall (Input Schneckenpresse). Trotz der zeitweise hohen Ammoniumkonzentrationen von bis zu ca. 4.000 mg/l konnten keine Hemmungen des anaeroben Prozesses festgestellt werden.

Es wurden verschiedene Detailuntersuchungen durchgeführt. Als wesentliche Ergebnisse dieser Untersuchungen können nochmals festgehalten werden:

- Eine Erhöhung der der Presse zugeführten Wassermenge, bestehend aus Gärrest und Prozesswasser, führt zu einer geringfügigen Erhöhung der DOC-Fracht im Presswasser und damit der erzeugten Biogasmenge.
- Ein Einfluss des Anteils des Prozesswassers an der gesamten der Presse zugeführten Wassermenge konnte nicht nachgewiesen werden.
- Durch eine Erhöhung der Aufenthaltszeit des Abfalls in der Schneckenpresse und damit durch eine Erhöhung der Kontaktzeit zwischen Abfall und zugegebenem Wasser kann die über das Presswasser ausgetragene DOC-Fracht zumindest geringfügig erhöht werden. Dies wiederum führt zu einem verbesserten Gasertrag.
- Ein relevanter Einfluss der Siebkorbblockung auf den Biogasertrag konnte bisher nicht nachgewiesen werden, wobei ein Siebkorb mit einer größeren Lochung zu einem erhöhten Eintrag von organischem Material in das Presswasser und damit zu einer höheren Gasproduktion führen sollte. Aufgrund von möglichen Betriebsproblemen durch Störstoffe wurde von einer Umrüstung der Schneckenpresse auf ein Sieb mit größerer Lochung bisher abgesehen.
- Von der über das Presswasser eingetragenen DOC-Fracht werden ca. 75 % abgebaut. Bei der verbleibenden DOC-Fracht ist davon auszugehen, dass es sich um einen schwer abbaubaren DOC handelt.
- Der biologische Abbauprozess erfolgt weitgehend in den Biofilmfermentern und ist in den Nachfermentern weitgehend abgeschlossen. Auch im Rührkesselfermenter findet nur noch ein geringer Abbau der organischen Stoffe in Höhe von etwas über 5 % statt. Der Rührkesselfermenter dient weitgehend als Puffer und Speicher.
- Die CH₄-Konzentration im Biogas liegt im Bereich von 55 bis 60 %. Hinsichtlich einer Erhöhung des Heizwertes bestehen somit nur geringe Optimierungspotenziale.
- Auffällig war die anfangs sehr hohe H₂S-Konzentration im Biogas. Durch eine kontinuierlichen Zudosierung von Eisenhydroxid konnte die H₂S-Konzentration auf unter 5 ppm reduziert werden.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Bei der Stoffbilanz der gesamten MBA konnte durch die nachgerüstete Anaerobstufe keine relevante Änderung nachgewiesen werden. Dies ist damit zu begründen, dass die Feststoffe über den Presskuchen weitgehend zur Rotte gelangen und damit weiterhin aerob behandelt werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Massenbilanz der anaeroben Anlage.

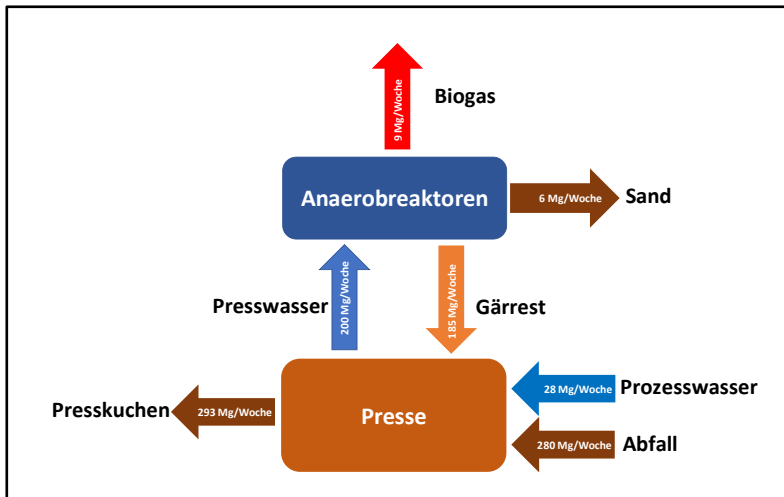


Abb. 11: Gesamtmassenbilanz der Vergärungsstufe der MBA Erbenschwang

Die Massenbilanz ergibt, dass von den der Presse zugeführten 280 Mg Abfall pro Woche ca. 9 Mg Biogas pro Woche erzeugt werden. Dies entspricht einem Volumen von ca. 7.000 m³ pro Woche. Durch das zugeführte Prozesswasser (im Wesentlichen handelt es sich dabei um Wasser aus der Bewässerung der Rotte) liegt die Presskuchenmenge ca. 5 % über der zugeführten Abfallmenge. Der Presskuchen bildet dabei neben dem Biogas und dem ausgetragenen Sand die relevante „Senke“ für den Prozess. So erfolgt über diesen Massenstrom der Austrag von z. B. Stickstoffverbindungen sowie verschiedenen Salzen, die in zu hoher Konzentration zu Prozessstörungen führen könnten.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Massenströme bezogen auf die Frischabfallmenge (Input Presse) dar. So fallen pro Mg Frischabfall 31 kg Biogas (entspricht ca. 25 m³) an. Ein durchaus auch relevanter Mengenstrom ist der ausgetragene Sand. Dieser beträgt etwa 2 % der zugeführten Abfallmenge.

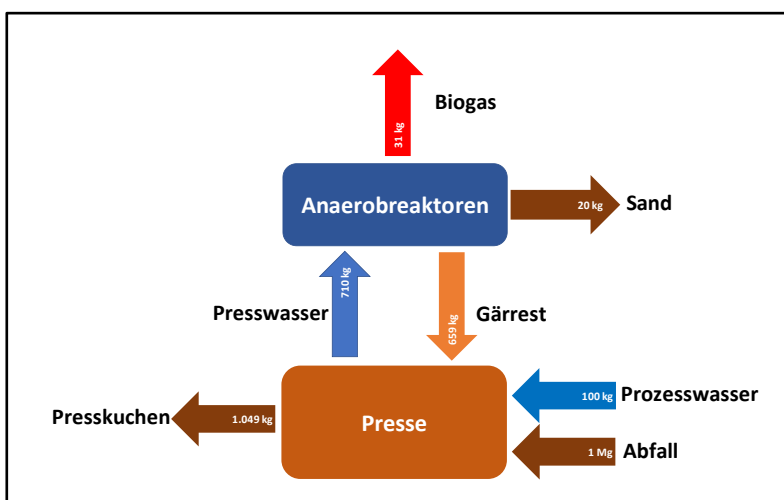


Abb. 12: Massenbilanz bezogen auf Frischabfallmenge

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die elektrische Energiebilanz der gesamten MBA. Betrachtet man diese, so werden von der MBA in Erbenschwang jährlich ca. 2,6 Mio. kWh an elektrischer Energie benötigt (siehe Abbildung 13). Durch die Eigennutzung von EE-Strom aus zwei PV-Anlagen (Bezeichnung G4 und G5) sowie dem mit Biogas betriebenen BHKW (Bezeichnung G6) konnten in den Jahren 2020 und 2021 im Durchschnitt 59 % durch selbst erzeugten Strom gedeckt werden (siehe Abbildung 16). Ca. 760.000 kWh an elektrischer Energie des BHKWs wurden für den Betrieb der MBA genutzt, wodurch ein positiver Beitrag zur Energiebilanz der gesamten Anlage geleistet wurde. 41 % der erforderlichen elektrischen Energie mussten aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Von der in den 3 EE-Anlagen erzeugten elektrischen Energie konnten ca. 67 % selbst genutzt werden, wobei von dem mit Biogas betriebenen BHKW ca. 95 % der erzeugten elektrischen Energie selbst genutzt wurden (siehe Abbildung 15)..Ca. 33 % der von den 3 EE-Anlagen erzeugten elektrischen Energie wurden in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Gemäß Abbildung 13 ist erkennbar, dass auch bei einer kompletten Nutzung der eigenerzeugten elektrischen Energie, der Einkauf zusätzlicher Energie erforderlich wäre.

Überproduktionen entstehen im Wesentlichen zu Zeiten, wenn die beiden PV-Anlagen eine hohe Leistung abgeben. Eine höhere Eigennutzung könnte hier nur durch Speichersysteme für den PV-Strom erreicht werden. Diese wären jedoch mit sehr hohen Kosten verbunden und bisher noch unwirtschaftlich. Bei in Zukunft voraussichtlich höheren Strompreisen, könnte ein Einsatz von Speichern durchaus interessant werden.

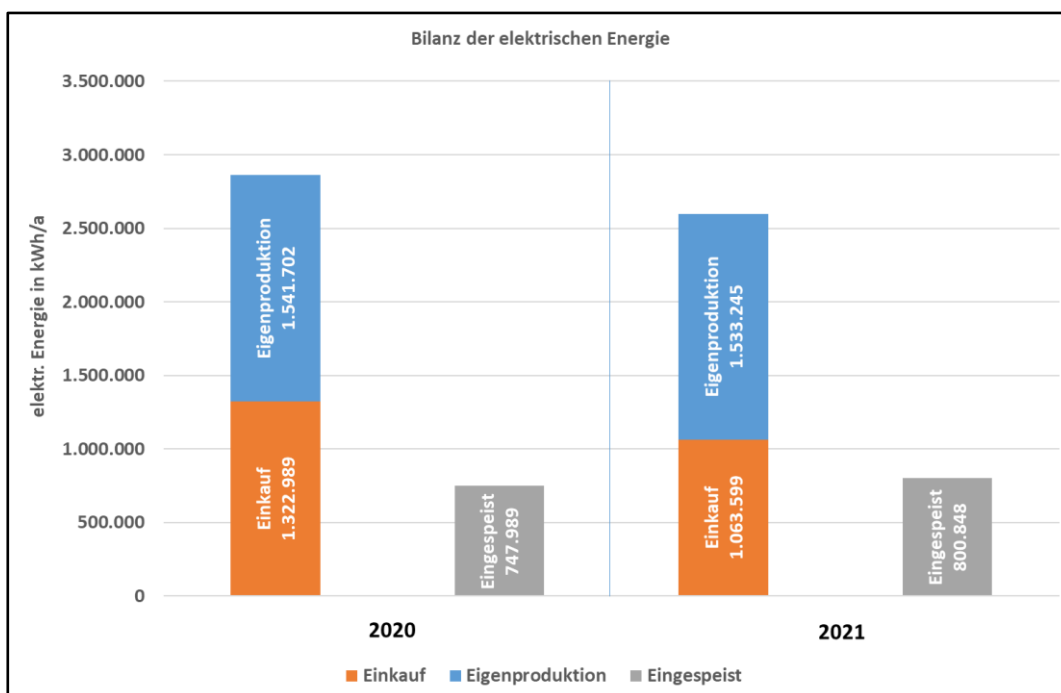


Abb. 13: Bilanz der elektrischen Energiemengen der MBA Erbenschwang

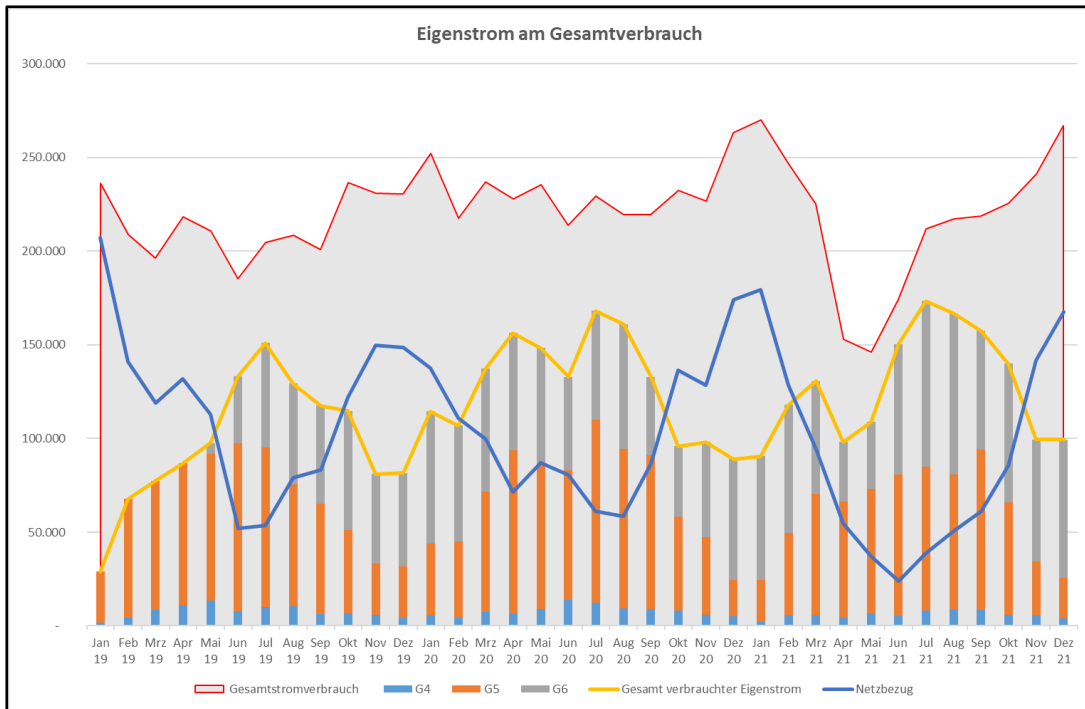


Abb. 14: Ganglinie des Eigenstromanteils am Gesamtverbrauch

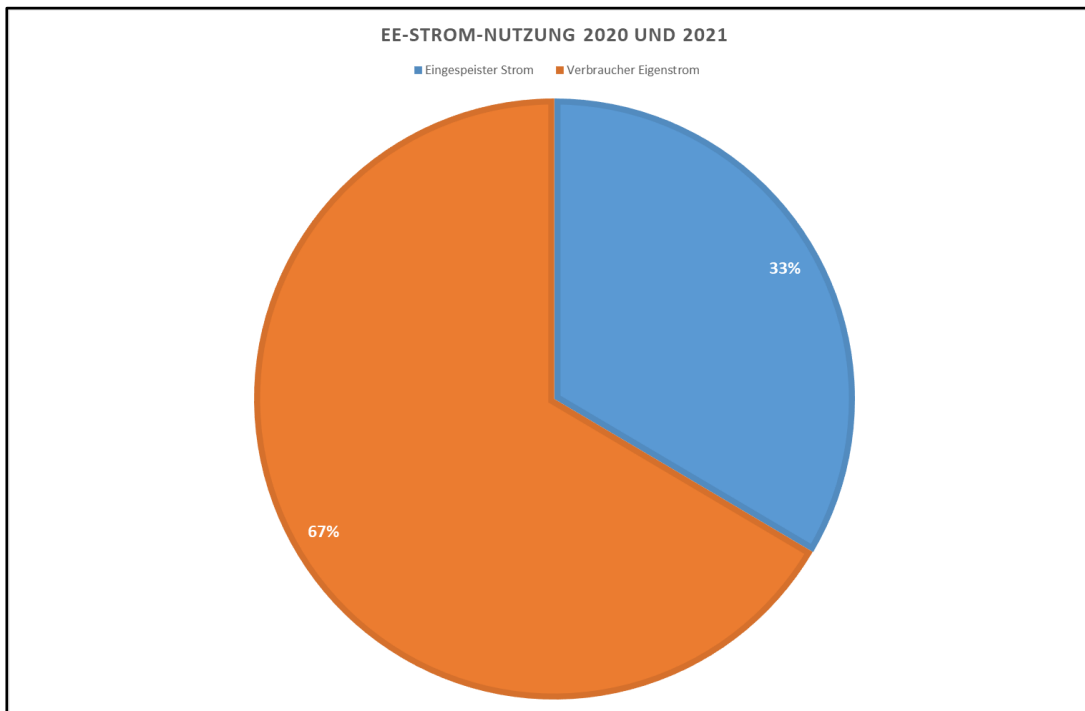


Abb. 15: Nutzung des in den Jahren 2020 und 2021 erzeugten EE-Stroms

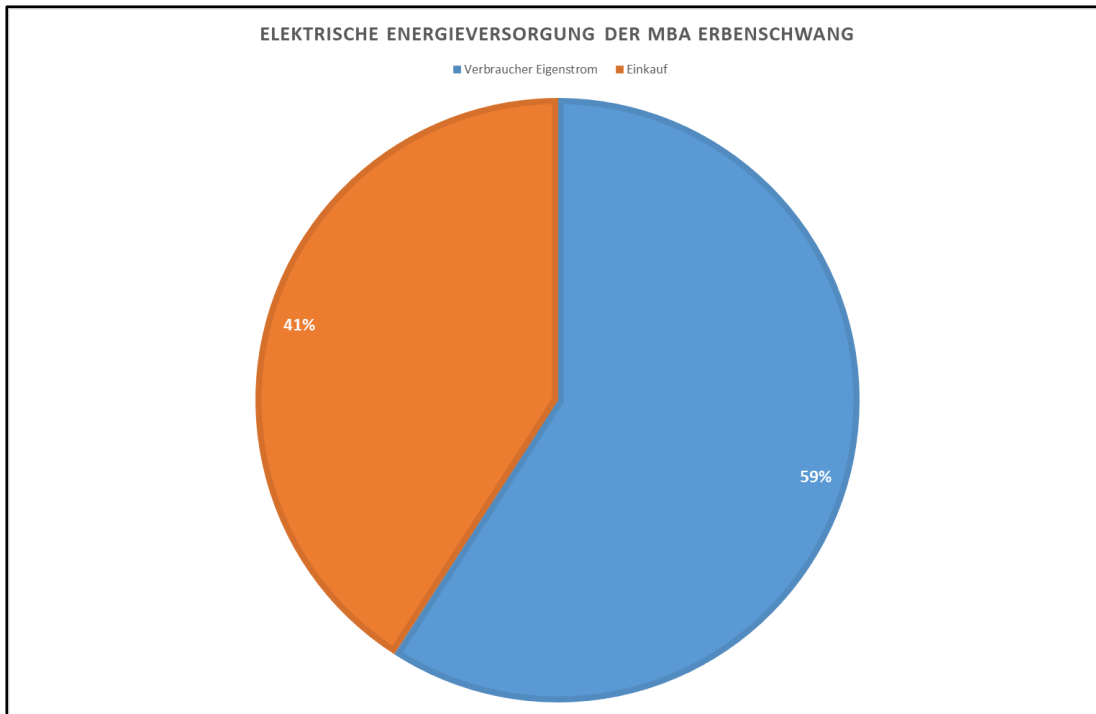


Abb. 16: Versorgung der MBA Erbenschwang mit elektrischer Energie

Der Wärmeverbrauch der MBA in Erbenschwang lag im Jahr 2021 bei 1.090 MWh. Von dem gesamten Wärmebedarf wurden 83,5 % durch das BHKW bereitgestellt. Zusätzlich mussten 16,5 % der Wärme durch die Ölheizung erzeugt werden (siehe Abbildung 17).

Da für die EBS-Trocknung nur überschüssige Wärme eingesetzt wird, so könnte durch die vom BHKW erzeugte Wärme grundsätzlich der gesamte Wärmebedarf der Anaerobanlage sowie der Verwaltungsgebäude gedeckt werden. Das BHKW muss jedoch teilweise nachts und insbesondere an den Wochenenden aufgrund zu geringer verfügbarer Gasmengen abgeschaltet werden. Die Wärmeversorgung während dieser Zeiten muss dann durch die Ölheizung erfolgen.

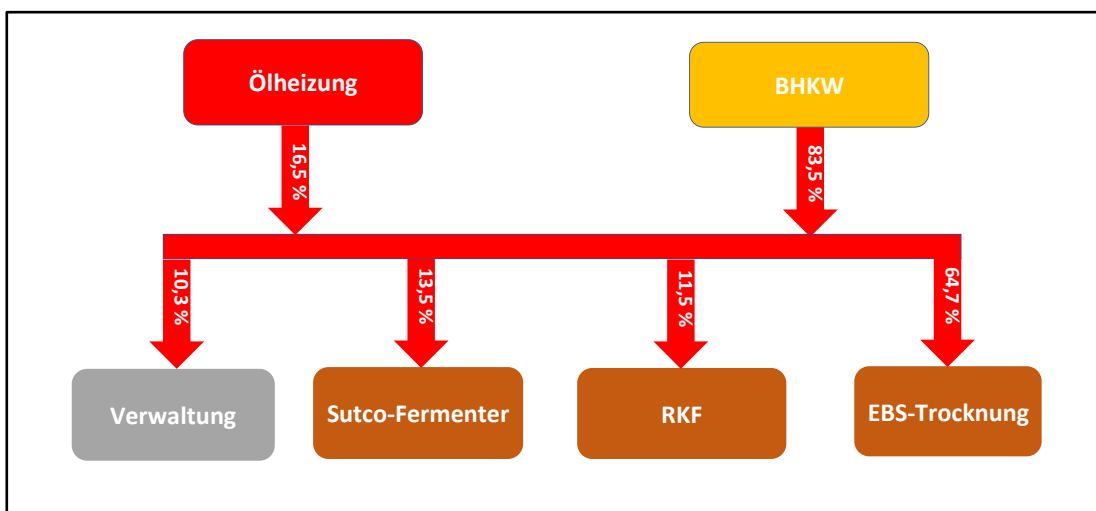


Abb. 17: Wärmebilanz der MBA Erbenschwang

3.3 Umweltbilanz

Durch das BHKW der Anlage wurden in den Jahren 2020 und 2021 durchschnittlich ca. 800.000 kWh pro Jahr an elektrischer Energie erzeugt, wovon ca. 760.000 kWh selbst genutzt und ca. 40.000 kWh ins öffentliche Stromnetz eingespeist wurden. Die durchgeführten Optimierungen führen in 2022 voraussichtlich zu einem Stromertrag von ca. 950.000 kWh, wovon ca. 942.000 kWh als Eigenstrom genutzt werden, ca. 8.000 kWh werden in das öffentliche Netz eingespeist. Von dieser elektrischen Energiemenge werden ca. 160.000 kWh für den Betrieb der nachgerüsteten Anlage benötigt. Geht man davon aus, dass durch die überschüssige Energie in Höhe von ca. 790.000 kWh die gleiche Energiemenge aus dem öffentlichen Stromnetz substituiert werden kann und legt einen Primärenergiefaktor von 1,8 zugrunde (für netzbezogenen Strom gemäß Anlage 4 GEG), so könnten ca. 1.422.000 kWh an Primärenergie eingespart werden. Bei einem CO₂-Emissionsfaktor von 366 g/kWh (UBA, 2021) ergibt sich eine CO₂-Reduktion von ca. 520.000 kg.

Da im Rahmen des Projektes nachgewiesen werden konnte, dass die Anaerobanlage abwasserfrei betrieben werden kann, gibt es durch die Nachrüstung der MBA bei den Emissionen über den Wasserpfad weder positive noch negative Auswirkungen. Gleiches gilt für die Emissionen über den Luftpfad.

An Betriebsmitteln werden zur Reduzierung des H₂S-Gehaltes im Biogas ca. 80 bis 90 Mg pro Jahr an Eisenhydroxid benötigt. Zur Eindämmung der Schaumbildung in den Anaerobreaktoren mussten zusätzlich ca. 1 bis 2 m³ pro Jahr Entschäumungsmittel zugegeben werden.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Wie aus den nachfolgenden Erläuterungen und Grafiken zu entnehmen ist, startet die betriebswirtschaftliche Betrachtung des Projekts im Jahr 2018.

Während das Jahr 2018 ausschließlich Planungs- und Anlaufkosten ausweist ist das Jahr 2019 auf der Kostenseite geprägt von den Anschaffungskosten (anteilige Abschreibung - Abnahme der Presswasservergärungsanlage im Oktober 2019), sowie vor allem den Verbrauchskosten. Auf der Ertragsseite werden im Rahmen der Test-/Probeläufe bereits die ersten Erträge erzielt.

Mit der Abnahme und der vollständigen Inbetriebnahme der Presswasservergärungsanlage steigen im Jahr 2020 die Kosten zunächst noch einmal an, was vorrangig in der Anpassung der personellen Ressourcen und der erhöhten ganzjährigen Abschreibung begründet ist.

Zu Beginn des Jahres 2020 wurde das Personal für die Presswasservergärungsanlage um zwei zusätzliche Mitarbeiter:innen aufgestockt. Aktuell kann die Anlage mit einer Personalstärke von 2,5 Mitarbeitern:innen betrieben werden.

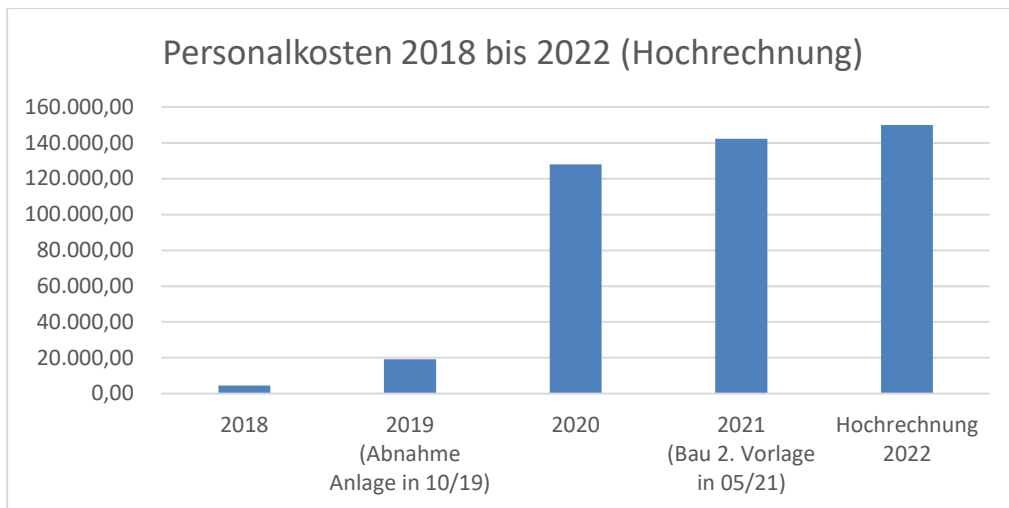


Abb. 18: Personalkosten von 2018 bis 2022

Derzeit ist kein weiteres zusätzliches Personal vorgesehen.

Parallel hierzu kann bereits im Jahr 2020 aufgrund der ersten erfolgreichen Optimierungsmaßnahmen eine kontinuierliche Ertragssteigerung erzielt werden.

Was sich bereits in der zweiten Hälfte des Jahres 2020 abzeichnet und im Jahr 2021 fortsetzt, ist die Reduzierung der Kosten. Durch die Optimierungsmaßnahmen kann der Bereich der Betriebs- und Verbrauchsstoffe spürbar verbessert und damit die Kosten schrittweise reduziert werden.

Hauptkostenträger sind und bleiben die Abschreibung, sowie die Personalkosten. Auch im Jahr 2021 können die Erträge noch einmal nachhaltig gesteigert werden.

In den ersten Monaten des Jahr 2022 zeichnet sich bereits ab, dass sich die Kosten- und Ertragskurve aufgrund der Anlagenoptimierung noch einmal deutlich annähern.

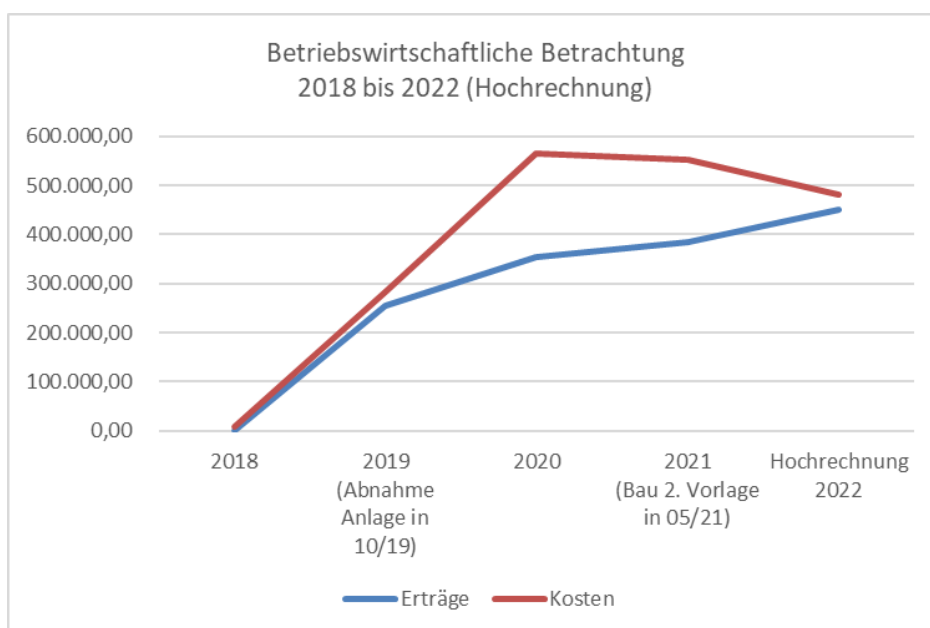


Abb. 19: Betriebswirtschaftliche Betrachtung von 2018 bis 2022

Aufgrund der Ertrags- und Kostenentwicklungen und des bisherigen Verlaufs ist davon auszugehen, dass die Presswasservergärung in naher Zukunft bereits, isoliert für sich betrachtet, wirtschaftlich und somit weitestgehend kostendeckend betrieben werden kann.

Der Ertrags- und Kostenverlauf spiegelt sich auch in der Entwicklung der (Strom-)kosten pro erzeugter Kilowattstunde wieder.

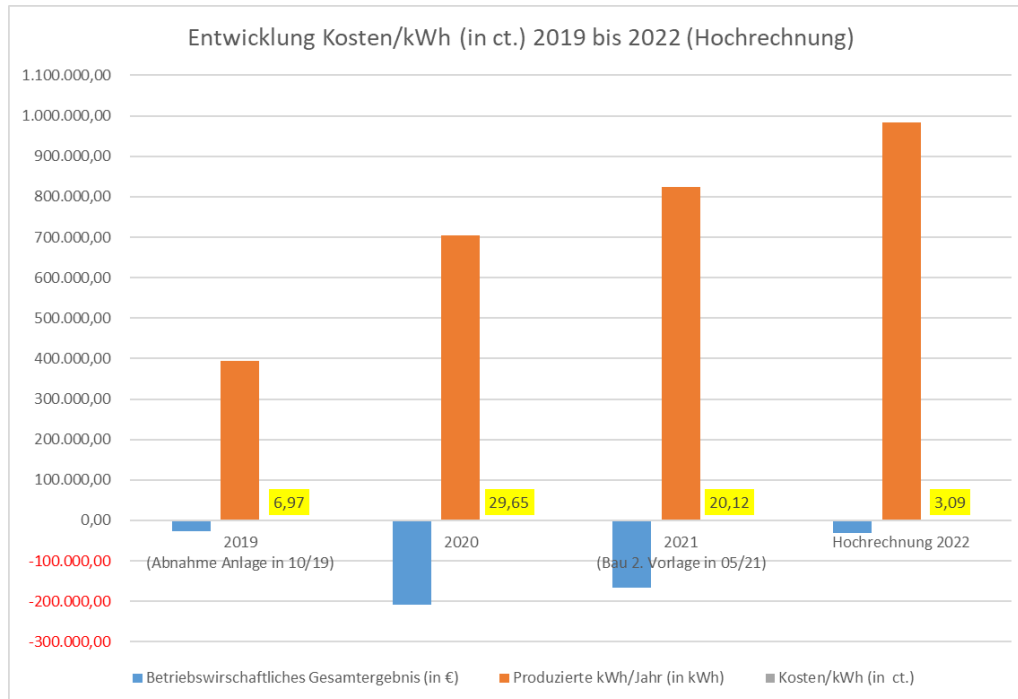


Abb. 20: Entwicklung Kosten/kWh (in ct.) 2019 bis 2022 (Hochrechnung)

Insbesondere unter Berücksichtigung der derzeitigen Energiesituation und Preisentwicklungen an den Energiemärkten gewinnt die Presswasservergärung immer mehr an Bedeutung. Die nachfolgende Grafik zeigt eindrücklich, wie die Gas- und damit die eigenproduzierte Strommenge gesteigert werden konnte.

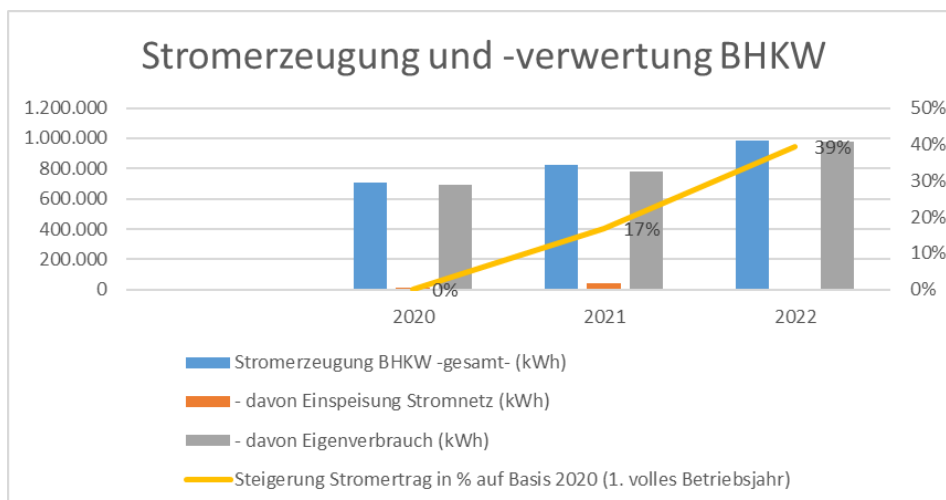


Abb. 21: Stromerzeugung und -verwertung BHKW 2020 bis 2022

Durch die Optimierung und der daraus resultierenden Steigerung der Gas- und eigenproduzierten Strommenge, kann die EVA mittlerweile ca. 1/3 ihrer im Jahr benötigten Strommenge mit Eigenstrom aus dem BHKW abdecken.

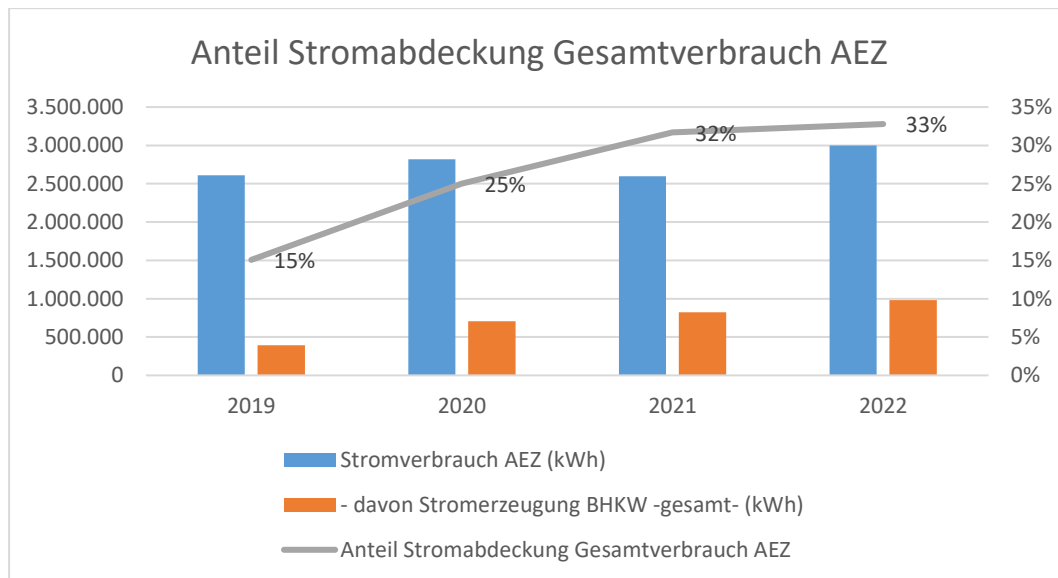


Abb. 22: Anteil Stromabdeckung Gesamtverbrauch AEZ von 2019 bis 2022

Wie wichtig die Presswasservergärungsanlage im Gesamt-Energiekonzept der EVA bereits heute ist, verdeutlicht die nachfolgende Grafik.

Unter der Annahme, dass in der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Erbenschwang jährlich ca. 33.000 to. Restmüll verarbeitet werden, was einen daraus resultierenden jährlichen Strombedarf, exklusiv der Stromabdeckung durch die PV-Anlagen, von ca. 1.650.000 kWh entspricht, ergeben sich in unserer Modellrechnung für die Jahre 2019 bis 2022 (Hochrechnung) nachfolgende Stromkosten(in EURO) pro verarbeitete Tonne Restmüll:

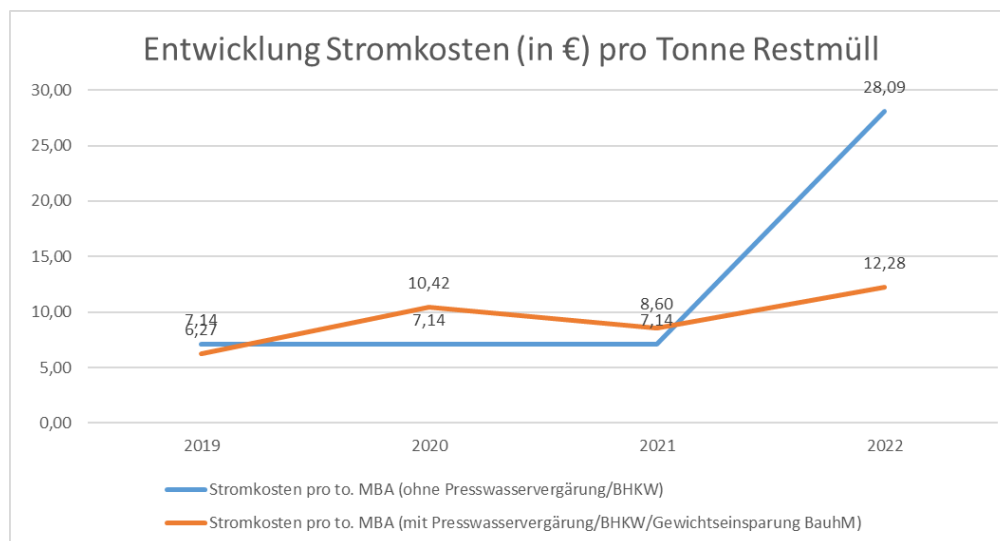


Abb. 23: Entwicklung Stromkosten (in €) pro Tonne Restmüll

Die blaue Linie zeigt die fiktiven Stromkosten pro verarbeiteter Tonne Restmüll an, wenn der Strombedarf von ca. 1.650.000 kWh ausschließlich über externe Bezugsquellen zu den jeweils gültigen Konditionen zugekauft würde.

Die orange Linie zeigt dagegen die tatsächlichen Stromkosten pro verarbeiteter Tonne Restmüll unter Einbeziehung der Presswasservergärungsanlage und der Gewichtseinsparung EBS an. Die Kosten liegen in dieser Betrachtung aufgrund der zusätzlichen Personalkosten, sowie der hohen Investitions- und Anlaufkosten leicht über der fiktiven Kostenermittlung. Aufgrund der Optimierungsmaßnahmen konnten die Stromkosten pro verarbeiteter Tonne Restmüll erheblich gesenkt werden.

Durch die gewaltigen Preisentwicklungen an den Energiebörsen und den damit verbundenen stark gestiegenen Strombezugskosten im Jahr 2022 dreht sich der Kostenvorteil deutlich zugunsten der Presswasservergärung.

Wie die Grafik eindrücklich zeigt, werden die Kosten(-steigerungen) pro Tonne Restmüll durch den Einsatz der Presswasservergärungsanlage, wenn auch auf einem vergleichsweise immer noch hohen Niveau, enorm abgefedert.

In absoluten Zahlen bedeutet dies derzeit für die EVA eine geschätzte durchschnittliche Stromkosteneinsparung von ca. 520 T€ pro Jahr.

Im Gesamt-Energiekonzept der EVA ist somit die Presswasservergärung bereits aktuell, aber insbesondere für die Zukunft nicht nur ein bedeutender ökologischer Energie-Baustein/Bestandteil, sondern auch ein wichtiger ökonomischer Baustein.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Für das Demonstrationsvorhaben in Erbenschwang bildete das FuE-Vorhaben EnBV die Ausgangsbasis mit dem diesem Vorhaben zu Grunde liegenden Stand der Technik. Der heutige Stand der Wissenschaft und Technik ist im Wesentlichen noch der Gleiche wie zu Beginn des Anschlussvorhabens EnBV und im Folgenden nochmals zusammengefasst:

Die im Bio- und Restabfall enthaltene, als Kohlenstoff gebundene Energie wird bei der konventionellen aeroben Verwertung via Kompostierung nicht genutzt, sie wird als Wärme freigesetzt, der Kohlenstoff wird dabei vollständig mineralisiert. Die ungünstige Energiebilanz von reinen aeroben Behandlungsanlagen führt seit vielen Jahren zum vermehrten Einsatz von anaeroben Behandlungsverfahren. Bei bewährten und technisch etablierten Vergärungsverfahren für Restabfälle sind hier technisch abschöpfbare Biogasmengen zwischen ca. 140 und 160 Nm³/Mg Restabfall in Ansatz zu bringen. Bei CH₄-Konzentrationen von ca. 55% entspricht dies einem Energieinhalt von ca. 770 bis 880 kWh je Mg Restabfall. Davon sind als elektrische Energie 250 bis 300 kWh/Mg nutzbar. Da bei einer Vollstromvergärung jedoch nicht mehr genügend Energie für die notwendige aerobe Nachbehandlung zur Erreichung der Ablagerungskriterien vorhanden ist, müssen bis zu 30% des Materials an der Vergärung vorbeigeschleusst werden und dann dem Gäraustrag vor der Rotte zugemischt werden.

Dieser Anteil geht der Vergärung verloren und müsste in der Energiebilanz abgezogen werden. Bei der Presswasservergärung ist eine aerobe Behandlung mit Temperaturen von 55 °C bis 60 °C ohne weiteres möglich. Es ist also noch genügend Energie für die Trocknung und den Abbau von ligninhaltigen Verbindungen enthalten. Dies geht jedoch zu Lasten eines höheren Gasertrags .

Vergärungsverfahren wurden in unterschiedlichsten Varianten entwickelt und optimiert.

Alle bisher etablierten Verfahren versuchen die energetische Nutzung des Biogaspotenzials zu maximieren, ohne die Anforderungen der oft noch notwendigen aeroben Behandlung zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu den zuvor genannten Verfahren wird beim entwickelten EnBV-Verfahren der Schwerpunkt auf die Steigerung der Energieeffizienz im herkömmlichen Verwertungsprozess (Kompostierung) und zusätzlicher Energieproduktion (Verstromen von Gärgasen) gelegt.

Das EnBV-Verfahren hat nun im Ergebnis folgende Vorteile im Vergleich zu den nach Stand der Technik auf dem Markt verfügbaren Verfahren:

- Vergärung einer hochenergetischen Flüssigphase und Entfrachtung des Restabfalls von leicht abbaubarer Organik
- Einfach zu bedienende, wartungsfreundliche und mit wenig Verschleiß verbundene Anlagentechnik
- Rückführung des Gärrestes zum Bewässern des frischen Restabfalls, es entsteht kein extern zu entsorgendes Abwasser!
- Hohe Durchsatzleistungen bzw. geringe Verweilzeiten im Hochleistungsfermenter, dadurch geringe Investitionskosten
- Hoher Methangehalt von bis zu ~60% im Biogas
- Keine Nachrotte von ammoniakhaltigen Gärresten in der bestehenden Kompostierung mit Gefährdung der Maschinen und des Hallentragwerks durch Korrosion
- Kontinuierliche Sandabtrennung im laufenden Vergärungsprozess

Der Prozess der Vergärung läuft nach den vorliegenden Untersuchungen stabil und sehr zufriedenstellend. Auch die Entsandung der Gärbehälter ist praxistauglich durchführbar. Die Vergärung kann ohne Überschusswasser betrieben werden. Damit wurden wesentliche Ziele erreicht. Obwohl der Gasertrag in wenigen Monaten deutlich gesteigert werden konnte (siehe Abb. 15), liegt die Gasproduktion jedoch noch unterhalb der Gasproduktion anderer Verfahren. Wir können jedoch bei unseren anhaltenden Optimierungsanstrengungen deutliche Hinweise erkennen, dass wir durch einen besseren Kontakt von Substrat und Gärrest diese Situation noch entscheidend verbessern können.

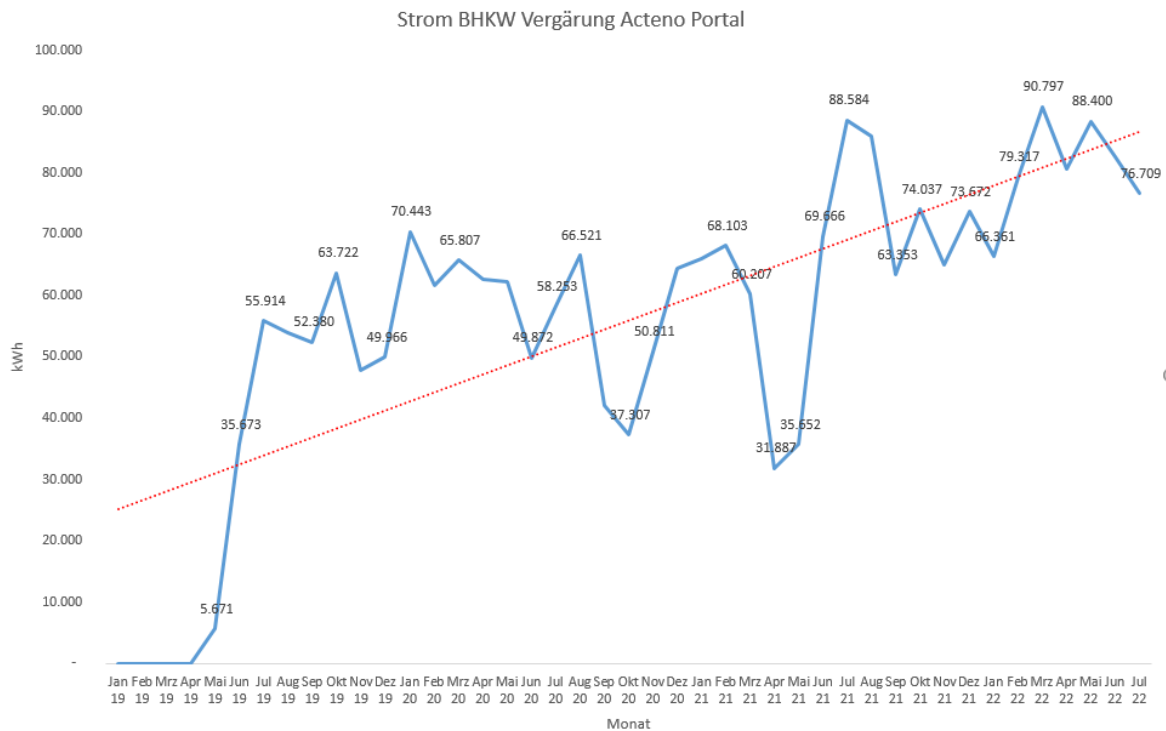


Abb. 24: Zunahme der Stromproduktion durch Optimierungsmaßnahmen technisch und organisatorisch

Eine wesentliche Zielsetzung für mehr Gas ist, dass wir deutlich mehr DOC aus dem Restmüll auswaschen und in die Vergärung einbringen können. Dazu gibt es diverse Vorschläge, die einer Bewertung und Umsetzung bedürfen. Wir werden uns mit dem Thema weiterhin intensiv beschäftigen. Schon alleine die Entwicklung im Energiemarkt, führt dazu, dass auch höhere Anpassungsinvestitionen zur Steigerung des Gaspotentials betriebswirtschaftlich sinnvoll sein können. Vergärungsprojekte sind nicht zuletzt auch am billigen Erdgas aus Rußland gescheitert.

Gasmindererträge werden auch durch Instandsetzungsarbeiten in der mechanischen Aufbereitung oder in der Rotte verursacht, wenn Anlagenstillstände damit einhergehen. So kommt es regelmäßig vor, dass über mehrere Tage die Vergärung nicht mit frischem Substrat versorgt werden kann, mit der Folge, dass die Gasproduktion einbricht. Eine vollständige Entkopplung der Anlagen ist aber nur schwer bis gar nicht realisierbar. Dennoch müssen wir auch hier ansetzen und evtl. durch organisatorische Maßnahmen die Stillstandszeiten entscheidend verkürzen.

3.6 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Auf Grundlage der großtechnischen Umsetzung des neu entwickelten Presswasservergärungs-Verfahrens in der MBA der EVA GmbH können zwar die zu erwartenden Gaserträge und -qualitäten der erzeugten Fraktionen in einer anderen MBA eingeschätzt werden, aber alleine mit dem Betrieb einer einzigen Anlage können keine verbindlichen Garantien für andere Anlagen abgegeben werden, auch wenn SUTCO wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der verfahrenstechnischen Ausrichtung auf das Substrat Restmüll sammeln konnte, wie wir oben ausführten.

Für die Entscheidung zu einer Investition bleibt deshalb für die derzeit interessierten MBAs dennoch ein Eintrittsrisiko, v. a. wenn Betriebsdaten hinsichtlich der Restmüllzusammensetzung stark abweichen. Des Weiteren werden als Präqualifikation für öffentliche Ausschreibungen i.d.R. 2-3 Referenzen mit einem Betrieb von mind. 1 Jahr gefordert, damit überhaupt ein Angebot abgegeben werden kann. Wenn es der Firma Sutco als Anlagenbauer gelingt, eine zweite Referenzanlage für Restabfall zu bauen, könnte sie auch an diesen Ausschreibungen teilnehmen. Bis dahin ist der Kundenkreis auf private Betreibergesellschaften eingeschränkt. Um belastbare und vertraglich bindende Garantien abgeben zu können, ist eine einzige Anlage, die an die spezifischen Randbedingungen der EVA angepasst wurde, als Basis noch nicht ausreichend.

Auf Grund der eingeschränkten Vorhersagepräzision der zu erwartenden Gasbildungsraten und der nur bedingt vorhersagbaren Einflüsse auf den weiteren Rotteprozess ist das Risiko zur Entscheidung über eine Investition doch recht hoch und beeinträchtigt deshalb vorerst die Verbreitung des Verfahrens. Allerdings zeigen die bereits durchgeführten Optimierungen auch, dass eine wesentliche Steigerung des Gasertrags zu erwarten ist und damit die Vermarktungsvoraussetzungen sich doch noch deutlich verbessern werden.

Insbesondere folgende nicht abschließend geklärte oder aufgrund der örtlichen Randbedingungen in Erbschwang offen gebliebene Punkte, sind:

- Einfluss der jeweils regionalen Abfallzusammensetzungen auf die Gasbildungsrate
- Verbesserung der DOC Auswaschung aus dem Substrat
- Langzeitbeständigkeit der Vergärungstechnik
- Prüfung der thermophilen Fahrweise der Vergärung
- Optimierung der Schwimmschichtabscheidung wie Styropor
- Vermeidung Schaumbildung, Optimierung der Schaumbekämpfung
- Lastganggesteuerte Produktion von Eigenstrom

Es handelt sich bei der installierten Anlage nicht um ein beliebig standortunabhängiges reproduzierbares „Produkt“. Vielmehr müssen individuelle Parameter berücksichtigt werden. Dies sind neben der regional und jahreszeitlich unterschiedlichen Abfallzusammensetzung auch infrastrukturelle Gegebenheiten wie innerbetriebliche Transportstrecken, Lagerkapazitäten und Besonderheiten bei der Einpassung in Bestandstechnologien. Somit ist deutlich geworden, dass es keine Standardanlage zur Realisierung des neuen Presswasser-Vergärungsverfahrens bei MBAs geben kann. Jede zukünftige Anlage wird ein Unikat sein, vertieft aber das Verständnis der verfahrenstechnischen Vorgänge des neuen Vergärungsprozesses und baut auf diese Weise zunehmend Realisierungshemmnisse ab. Trotz des wirtschaftlichen Erfolges, den die EVA GmbH nachgewiesen hat, wird empfohlen, auch die nächste Anlagengeneration wissenschaftlich zu begleiten, um die Technologie zukünftig zum Stand der Technik erheben zu können. Mit der prototypischen Demonstration des Verfahrens in realer Einsatzumgebung hat das neue Presswasservergärungsverfahren den technologischen Reifegrad von TRL 7 – 8 erreicht.

3.7 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Der Bau und Betrieb einer Presswasservergärung in Erbenschwang ermöglicht eine abgesicherte verfahrenstechnische und energetische Bewertung des im EnBV-Verfahren für Bioabfall entwickelten Vergärungs-Prozesses mit Restabfall als Substrat. In dem abgeschlossenen FuE-Vorhaben sind für Bioabfall nutzbare Biogasmengen von mindestens 45 Nm³/Mg Presswasser erzielt worden. Diese Biogasausbeute bedeutet ein energetisch zu nutzendes Potenzial (60% CH₄) von rd. 108 kWh_{el}/Mg Bioabfall (Annahme elektr. Wirkungsgrad: 40%). Die Untersuchungen von Restabfall haben hier eine Biogasmenge von 25-30 m³/Mg Presswasser mit einem zum Bioabfall vergleichbaren Energiegehalt ergeben.

Die im Demonstrationsvorhaben in Erbenschwang erprobte Technik kann in Folgeprojekten mit minimiertem Risiko in bestehende biologische Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland integriert werden. Das Verfahren wird von der Fa. Sutco RecyclingTechnik GmbH in die Herstellerprogramme aufgenommen und bei Planungsbüros, Anlagenbetreibern sowie Genehmigungsbehörden vorgestellt. Die Ergebnisse werden weiterhin im Rahmen von Vorträgen bei Fachtagungen, Veröffentlichungen etc. vorgestellt, diskutiert und der Allgemeinheit zugänglich gemacht.

Wir gehen davon aus, dass ein wirtschaftliches und wissenschaftliches Interesse an den Ergebnissen gegeben ist. Die Ergebnisse des Vorhabens zeigen eine interessante Alternative zu etablierten Trocken- und Naßvergärungsverfahren, wenn eine Vergärungsanlage als biologischer Behandlungsschritt in eine bestehende oder auch in eine gänzlich neue Konzeption verwirklicht werden soll. Die überschaubare technische Konzeption einer Presswasservergärung erleichtert vielen Anlagenbetreibern die Integration einer Vergärungsstufe in ihren biologischen Behandlungsprozess. Das gilt insbesondere auch für Restabfallbehandlungsanlagen, bei denen der technische Aufwand auf Grund des schwierigen Substrats „Restmüll“ in der Regel sehr hoch ist. Mit überschaubarer Technik wird leicht abbaubare Organik aus dem Restmüll für die Vergärung herausgelöst, ohne dass große mechanische Risiken durch inhomogene Bestandteile im Restmüll die Anlagentechnik gefährden oder den Verarbeitungsaufwand erhöhen.

Mit dem EnBV-Verfahren vermindern sich für den Anlagenbetreiber die Kosten für Neuinvestitionen erheblich, da die bestehende Infrastruktur in der Kompostierung weitestgehend genutzt und nur in Teilbereichen modifiziert werden muß.

Das Verfahrenskonzept einer Presswasservergärung bietet eine bedenkenswerte Alternative zu den hochtechnisierten, investitions- und betriebskostenintensiven Vergärungsverfahren nach Stand der Technik.

Die Erfolgsaussichten für den vermehrten Einsatz des EnBV-Verfahrens nach der Demonstrationsphase sind hoch, da mit dieser zweiten Referenz der breite Einsatzbereich des Verfahrens hinsichtlich der Inputstoffe (Art, Menge, Energiegehalt, Inertstoffanteil) nachgewiesen wurde. Die realisierte Anlage kann als bundesweit erste Referenzanlage angesehen werden, da die Vorteile des Verfahrens an realen Abfallmengen im großtechnischen Betrieb gezeigt wurden.

4 Zusammenfassung/Summary

4.1 Zusammenfassung

Die Sutco Recyclingtechnik hat ein Verfahren zur Vergärung einer aus Abfällen abgepressten Flüssigphase entwickelt. Dieses ursprünglich für Bioabfälle entwickelte Verfahren wurde in den letzten 2,5 Jahren auf der MBA Erbschwang mit Restabfall aus der grauen Tonnen erprobt und angepasst. Die Anlage ging im April 2019 in Betrieb, die Abnahme durch den Anlagenbetreiber erfolgte am 1.10.2019. Der Betrieb der Anlage wurde von der Inbetriebnahme bis Ende 2021 durch die Universität Rostock wissenschaftlich begleitet.

Bei dem Verfahren erfolgt im ersten Schritt eine Abtrennung des Materials < 60 mm. Dieses Material wird anschließend einer Presse zugeführt. Unter gleichzeitiger Zugabe von rückgeführtem Gärrest sowie Prozesswasser aus der Intensivrotte werden die im Abfall enthaltenen organischen Stoffe in der Presse ausgewaschen. Im Kompressionsteil der Presse erfolgt eine Entwässerung des Abfalls, wobei die flüssige Phase, das sogenannte Presswasser, der Anaerobstufe zugeführt wird, während der entwässerte Abfall, der sogenannte Presskuchen, zur Rotte transportiert wird.

Die biologische Stufe besteht aus zwei Vorlagebehältern, 2 Festbettfermenter (BF1 und BF2), 2 sogenannten Nachfermentern (NF1 und NF2) und einem nachgeschalteten Rührkesselfermenter (RKF). Die beiden Nachfermenter werden parallel, alle anderen Fermenter in Reihe betrieben. Der den Rührkesselfermenter verlassende Gärrest wird der Presse wieder zugeführt, so dass kein überschüssiges Abwasser anfällt. Das durch den anaeroben Abbau entstehende Biogas wird in einem Gasbehälter gespeichert und in einem BHKW mit vorgeschaltetem Aktivkohlefilter verwertet.

Während der bisherigen Betriebszeit wurden mehrere anlagentechnische Optimierungen, wie z. B. die Nachrüstung eines biologischen Entschwefelungsfilters - , die Installation einer Bandwaage sowie die Nachrüstung eines weiteren Vorlagebehälters vorgenommen.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, den Prozess abwasserfrei zu betreiben. Es besteht sogar ein Wasserbedarf von ca. 100 l pro Mg Abfall (Input Schneckenpresse). Trotz der zeitweise hohen Ammoniumkonzentrationen von bis zu ca. 4.000 mg/l konnten keine Hemmungen des anaeroben Prozesses festgestellt werden. Kritisch muss die vergleichsweise geringe Gasausbeute des Prozesses von ca. 25 m³ pro Mg Abfall (bezogen auf Input Schneckenpresse, d. h. Material < 60 mm) bewertet werden. Die Ursache hierfür liegt aber nicht im anaeroben Teilprozess, sondern darin, dass in der Schneckenpresse eine zu geringe organische Fracht in das der Anaerobstufe zugeführten Presswassers ausgetragen wird. So gelangten von der im Abfall enthaltenen anaerob abbaubaren Organik nur ca. 25 % in das Presswasser. Der überwiegende Anteil verlässt die Schneckenpresse über den Presskuchen und gelangt so zur Rotte. Trotz verschiedener Optimierungsversuche, wie z. B. der Erhöhung der zugeführten Wassermenge, der Variation des Pressdruck sowie der Lochung des Siebkorbs, war es nicht möglich, die Gasausbeute relevant zu verbessern. Die geringe Gasausbeute stellt die wesentliche Schwachstelle des Verfahrens dar. Die Erhöhung der DOC Fracht wird entscheidend für die Marktfähigkeit des Verfahrens sein. Ein Lösungsansatz scheint aber nicht unmöglich zu sein.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung wurden verschiedene Detailuntersuchungen durchgeführt. Als wesentliche Ergebnisse dieser Untersuchungen können festgehalten werden:

- Eine Erhöhung der der Presse zugeführten Wassermenge, bestehend aus Gärrest und Prozesswasser, führt zu einer geringfügigen Erhöhung der DOC-Fracht im Presswasser und damit der erzeugten Biogasmenge. Das Wassermanagement sollte deshalb so gestaltet werden, dass der Schneckenpresse neben dem Abfall eine möglichst große Wassermenge zugegeben werden kann.
- Die der Presse zugegebene Wassermenge setzt sich aus zwei Anteilen zusammen: dem Gärückstand sowie geringer belastetes Prozesswasser aus der Bewässerung der Rotte. Ein Einfluss des Anteils des Prozesswassers an der gesamten der Presse zugeführten Wassermenge konnte nicht nachgewiesen werden.
- Durch eine Erhöhung der Aufenthaltszeit des Abfalls in der Schneckenpresse und damit durch eine Erhöhung der Kontaktzeit zwischen Abfall und zugegebenem Wasser kann die über das Presswasser ausgetragene DOC-Fracht zumindest geringfügig erhöht werden. Dies wiederum führt zu einem verbesserten Gasertrag.
- Ein relevanter Einfluss der Siebkorbblockung auf den Biogasertrag konnte bisher nicht nachgewiesen werden, wobei ein Siebkorb mit einer größeren Lochung zu einem erhöhten Eintrag von organischem Material in das Presswasser und damit zu einer höheren Gasproduktion führen sollte. Aufgrund von möglichen Betriebsproblemen durch Störstoffe wurde von einer Umrüstung der Schneckenpresse auf ein Sieb mit größerer Lochung bisher abgesehen.
- Von der über das Presswasser eingetragenen DOC-Fracht werden ca. 75 % abgebaut. Bei der verbleibenden DOC-Fracht ist davon auszugehen, dass es sich um einen schwer abbaubaren DOC handelt.
- Der biologische Abbauprozess erfolgt in den Biofilmfermentern und ist in den Nachfermentern weitgehend abgeschlossen. Auch im Rührkesselfermenter findet nur noch ein geringer Abbau der organischen Stoffe in Höhe von etwas über 5 % statt. Der Rührkesselfermenter dient weitgehend als Puffer und Speicher.
- Die CH_4 -Konzentration im Biogas liegt im Bereich von 55 bis 60 %. Hinsichtlich einer Erhöhung des Heizwertes bestehen somit nur geringe Optimierungspotenziale.
- Auffällig war die anfangs sehr hohe H_2S -Konzentration im Biogas. Seit der kontinuierlichen Zudosierung von Eisenhydroxid konnte die H_2S -Konzentration auf unter 5 ppm reduziert werden.
- Durch die Zugabe von Co-Substraten wie Molkereiprodukte kann der Biogasertrag grundsätzlich verbessert werden. Dabei sollten jedoch eher flüssige Co-Substrate, die in der Schneckenpresse in das Presswasser gelangen, eingesetzt werden. Co-Substrate mit einer weitgehend festen Konsistenz und wenig löslichen organischen Bestandteilen sollten direkt der Rotte zugeführt werden.
- Von der vom BHKW erzeugten elektrischen Energie können ca. 95 % auf der Entsorgungsanlage genutzt werden. Zusammen mit den bereits vorhandenen PV-Anlagen kann der elektrische Energiebedarf des Entsorgungszentrums zu fast 60 % gedeckt werden.
- Durch die Nutzung der Abwärme des Biogasprozesses für die Trocknung von EBS kann die Masse durch den Wasserentzug um ca. 5 % pro Tag reduziert werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass eine Anlage mit dem untersuchten Verfahren stabil betrieben werden kann. Wesentlicher Schwachpunkt des Verfahrens ist der geringe Biogasertrag, welcher durch einen zu geringen Austrag von organischer Fracht in das Presswasser verursacht wird. Durch eine Erhöhung der Kontaktzeit zwischen Abfall und dem zugeführten Wasser könnte die „Auswaschung“ der organischen Stoffe verbessert werden. Dies könnte in Form einer Hydrolysestufe oder eventuell auch durch konstruktive Veränderungen der Schneckenpresse erreicht werden.

Das Verfahren stellt eine alternative Lösung zu den bisherigen Verfahren zur Behandlung biogener Abfälle mit dem Ziel eines weitgehenden Umsatzes von organischer Masse in energetisch verwertbares Biogas dar.

4.2 Summary

Sutco Recyclingtechnik has developed a process for the fermentation of a liquid phase pressed from waste. This process, originally developed for biowaste, has been tested and adapted over the last 2.5 years at the Erbenschwang MBT plant using residual waste from the gray garbage can. The fermentation plant went into operation in April 2019, the acceptance by the plant operator took place on 1.10.2019. The operation of the plant was scientifically accompanied by the University of Rostock from the start of operation until the end of 2021.

In the first step of the process, the material < 60 mm is separated. This material is fed to a press. There with the simultaneous addition of recycled digestate and process water from the intensive rotting process, the organic substances contained in the waste are washed out. In the compression section of the press, the waste is dewatered and the liquid phase, the so-called press water, is fed to the anaerobic stage, while the dewatered waste, the so-called press cake, is transported to the rotting stage.

The biological stage consists of two feed tanks, 2 fixed-bed fermenters (BF1 and BF2), 2 so-called secondary fermenters (NF1 and NF2) and a downstream stirred tank fermenter (RKF). The two secondary fermenters are operated in parallel, all other fermenters in series. The fermentation residue leaving the stirred tank fermenter is returned to the press so that no excess waste water is produced. The biogas produced by the anaerobic process is stored in a gas tank and utilized in a CHP unit with an activated carbon filter.

During the operating period to date, several technical plant optimizations have been carried out, such as the retrofitting of a biological desulfurization filter, the installation of a belt weigher, and the retrofitting of an additional feed tank. Within the scope of the scientific monitoring, it could be proven that it is possible to operate the process without wastewater. There is even a water requirement of approx. 100 l per Mg of waste (input screw press). Despite the occasionally high ammonium concentrations of up to approx. 4,000 mg/l, no inhibition of the anaerobic process could be detected. The comparatively low gas yield of the process of approx. 25 m³ per Mg waste (related to input screw press, i.e. material < 60 mm) must be evaluated critically. However, this is not due to the anaerobic process, but to the fact that in the screw press an insufficient organic load is discharged into the press water fed to the anaerobic stage. Thus, of the anaerobically degradable organic matter contained in the waste only approx. 25% entered the press water. The major part leaves the screw press via the press cake and thus reaches the rotting process. Despite various optimization attempts, such as increasing the amount of water added, varying the press pressure and the perforation of the screen basket, it was not possible to improve the gas yield to any relevant extent. The low gas yield is the main weakness of the process. Increasing the DOC load will be crucial for the marketability of the process. However, a solution does not appear to be impossible.

Various detailed investigations were carried out as part of the scientific support. The main results of these investigations are as follows:

- An increase in the amount of water supplied to the press, consisting of digestate and process water, leads to a slight increase in the DOC load in the press water and thus in the amount of biogas produced. Therefore, the water management should be designed in such a way that the largest possible amount of water can be added to the screw press in addition to the waste.

- The amount of water added to the press consists of two parts: the digestate and less contaminated process water from the irrigation of the rotting process. An influence of the proportion of process water on the total amount of water fed to the press could not be proven.
- By increasing the residence time of the waste in the screw press and thus by increasing the contact time between waste and added water, the DOC load discharged via the press water can be increased at least slightly. This in turn leads to an improved gas yield.
- A relevant influence of the screen basket perforation on the biogas yield could not be proven so far, although a screen basket with a larger perforation should lead to an increased input of organic material into the press water and thus to a higher gas production. Due to possible operating problems caused by impurities, the screw press has not yet been retrofitted with a screen with a larger perforation.
- Of the DOC load introduced via the press water, approx. 75% is degraded. The remaining DOC load can be assumed to be a DOC that is difficult to degrade.
- The biodegradation process largely takes place in the biofilm fermenters and is largely completed in the secondary fermenters. Even in the stirred tank fermenter, only a slight degradation of the organic substances takes place, amounting to slightly more than 5%. The stirred tank fermenter largely serves as a buffer and storage.
- The CH₄ concentration in the biogas is in the range of 55 to 60 %. Thus, there is only little potential for optimization with regard to an increase in the calorific value.
- The initially very high H₂S concentration in the biogas was striking. Since the continuous addition of iron hydroxide, the H₂S concentration could be reduced to below 5 ppm.
- In principle, the biogas yield can be improved by adding co-substrates such as dairy products. However, liquid co-substrates, which enter the press water in the screw press, should rather be used. Co-substrates with a largely solid consistency and little soluble organic components should be fed directly to the rotting process.
- From the electrical energy generated by the CHP unit, approx. 95 % can be used at the disposal plant. Together with the already existing PV systems, almost 60 % of the electrical energy demand of the disposal center can be covered.
- By using the waste heat of the biogas process for the drying of RDF, the mass can be reduced by approx. 5 % per day due to the removal of water.

In conclusion, it can be stated that a plant can be operated stably with the investigated process. The main weakness of the process is the low biogas yield, which is caused by an insufficient discharge of organic freight into the press water. By increasing the contact time between the waste and the supplied water, the "leaching" of the organic matter could be improved. This could be achieved in the form of a hydrolysis stage or possibly by design modifications to the screw press.

The process represents an alternative solution to the existing processes for the treatment of biogenic waste with the aim of largely converting organic matter into biogas that can be used for energy generation.

5 Literatur

UBA, 2021 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutsche Strommix in den Jahren 1990 bis 2020, Bericht climate change 45/2021, ISSN 1862-4359, 2021

ATV (2002): ATV-Arbeitsbericht „Praktische Empfehlungen und Hinweise für Anaerobanlagen“, KA-Korrespondenz Abwasser 12/2002

BÖNING, TH: Prozesswasser von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) mit Vergärungsstufen, Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft, Band 10

BRAUN (1982): Biogas – Methangärung organischer Abfälle, Springer Verlag, 1982

DE BAERE, L. A.; DEVOCHT, M.; VAN ASCHE, P.; VERSTRAETE, W. (1984): Influence of high NaCl and NH₄Cl Salt Levels on Methanogenic Associations, Water Research 18, S. 543 – 548, 1984

FNR (2021): Fachagentur nachwachsende Rohstoffe, <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>, heruntergeladen am 15.1.2022

ISA, Z.; Grusenmeyer, S.; Verstraete, W. (1986): Sulfate Reduction relative to methane Production in high rate Anaerobic Digestion, App. Environmental microbiol. 51

SCHERER, R.A. (1989): Biogastechnik – Grundlagen und Besonderheiten der anaeroben Prozessführung, in: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg): Biogas-Anaerobtechnik in der Abfallwirtschaft, EF-Verlag

N.N. (2015): Abschlussbericht des FuE-Vorhabens „Energieeffiziente Bioabfallverwertung = EnBV“, Abschlussbericht FKZ0327846