



# Biogas production from sugarcane filter cake: Start-up strategies, co-digestion with bagasse and plant design

Leandro Janke<sup>a,b</sup>, Athaydes Leite<sup>c</sup>, Marcell Nikolausz<sup>c</sup>, Walter Stinner<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Biochemical Conversion, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig, Germany

<sup>b</sup> Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Waste Management, University of Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock, Germany

<sup>c</sup> Department of Environmental Microbiology, Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Permoserstraße 15, 04318 Leipzig, Germany *assign layout “Standard”*

## Abstract

The Sugarcane Industry in Brazil is responsible for generation of different types of organic wastes. Bagasse and small share of straw have already been used as solid fuel in co-generation systems in general. Meanwhile, there are other kinds of by-products, as filter cake and vinasse, which have been completely unused from the energy point of view. The idea of converting such unused wastes into additional energy is gaining attention, especially driven by some Government commitments on increasing the renewable energy generation combined with the reduction of carbon dioxide emissions.

The anaerobic digestion process is able to contribute with additional renewable energy production, in the form of electricity from biogas or even biomethane, keeping meanwhile the current practice of recycling the nutrients contained in these wastes on the sugarcane fields. However, for a successful application in industrial scale, the anaerobic digestion process must be carefully evaluated in terms of selection of appropriate inoculum, process kinetics, and plant design, among other aspects.

The present research evaluated different inocula for the biogas reactors start-up, the utilization of filter cake as single substrate for biogas production and the combination with bagasse in a co-digestion system (70% of filter cake and 30% of bagasse in fresh basis). Moreover, different options for the biogas utilization (combined heat and power or upgrading to biomethane) integrated to an average size sugarcane plant (2.5 M ton year<sup>-1</sup>) were assessed.

Therefore, six laboratory scale (5 L volume) continuous stirred tank reactors (CSTRs) were operated during approximately 140 days under mesophilic conditions ( $\pm 38^\circ\text{C}$ ). To understand the applicability of an alternative and locally available inoculum (fresh cow manure) over the conventional start-up system (digestate from another biogas reactor), the kinetic and energy benefits of co-digestion with bagasse, and finally the simulation of biogas production in an average size sugarcane plant were analyzed.

The results demonstrate that it is possible to utilize fresh cow manure as inoculum for biogas production from sugarcane filter cake and bagasse. However, a previous acclimation of the fresh cow manure is required due to its high volatile organic acids concentration. The mono-digestion of filter cake achieved an average biogas yield of 430 mL gVS<sup>-1</sup> with 59% of methane content during the steady phase (hydraulic retention time of 28 days and organic loading rate of 3.0 g VS L.d<sup>-1</sup>).



In contrast, for the co-digestion of filter cake and bagasse an average biogas yield achieved 347 mL gVS<sup>-1</sup> with 54% of methane content was determined during the steady phase (hydraulic retention time of 35 days and organic loading rate of 3.0 g VS L.d<sup>-1</sup>). For the simulation of large scale biogas production, the combined heat and power unit of an average sized sugarcane plant operated as mono-digestion of filter cake would have an installed capacity of 4.3 MW<sub>EL</sub> ( $\pm 15,500$  MWh<sub>EL</sub> year<sup>-1</sup>) or alternatively a biomethane production of  $\pm 12,000$  m<sup>3</sup><sub>STP</sub> day<sup>-1</sup>.

In case of co-digestion of bagasse, the biogas plant would have a combined heat and power system with an installed capacity of 4.5 MW<sub>EL</sub> ( $\pm 16,500$  MWh<sub>EL</sub> year<sup>-1</sup>) or alternatively a biomethane production of 12,500 m<sup>3</sup><sub>STP</sub> day<sup>-1</sup>.

The results demonstrate that co-digestion of bagasse produce less biogas than mono-fermentation of filter cake, even its substrate composition presenting a better balance of nutrients (C:N ratio of 40:1) in comparison to filter cake mono-digestion (C:N ratio of 24:1). The less biogas production of co-digestion can be explained by the high lignin content found in bagasse, which could have hampered the conversion of cellulose and hemicellulose of bagasse into biogas. To avoid this situation a more effective pre-treatment is suggested to improve the conversion of the fibers fraction of bagasse. During the present research only a physical pre-treatment by grinding in 10 mm was used.



# **Energetische und stoffliche Verwertung von Inkontinenz-Abfällen (INKOCYCLE): Anaerobe Behandlung von Erwachsenenwindeln**

**Johanna Heynemann, Steffen Herbert, Thomas Luthardt-Behle, Harald Weigand,  
Ulf Theilen**

Technische Hochschule Mittelhessen, Kompetenzzentrum ZEuUS, 35390 Gießen,  
Germany

## **Recycling and energy recovery of incontinence waste (INKOCYCLE) – Anaerobic treatment of adult diapers**

### **Abstract**

Due to the demographic change in Europe the amount of incontinence waste is expected to increase drastically. In Germany, the incontinence waste stream is currently estimated as 200,000 metric tonnes per year. The „INKOCYCLE“-Project focuses on a combination of energy and material recovery from adult incontinence waste. Energy recovery is pursued by anaerobic digestion of the biodegradable fraction of the diapers whereas material recovery options are targeted for the digestion residue. The anaerobic digestion of the biodegradable organic fractions results in 663 L biogas per kg organic dry residue, with an average composition of 56 % CH<sub>4</sub> and 44 % CO<sub>2</sub>. Based on the original waste the gas yield is 155 L biogas per kg of used diapers. The digestion residue mostly consists of the non-biodegradable plastic components, adhering biomass and the superabsorbent polymer. The calorific value of the ‘plastics fraction’ (dry residue 42 %) is about 12 MJ per kg of washed digestion residue.

### **Inhaltsangabe**

Infolge des demografischen Wandels in Europa wird das Aufkommen an Inkontinenzabfällen deutlich zunehmen. Deutschlandweit handelt es sich derzeit um eine geschätzte jährliche Menge von 200.000 Tonnen Inkontinenzabfall. Das Projekt „INKOCYCLE“ konzentriert sich auf eine Kombination aus energetischer und stofflicher Verwertung des Inkontinenzabfalls. Die energetische Verwertung erfolgt mittels anaerober Fermentation der biologisch abbaubaren Bestandteile des Inkontinenzproduktes, während sich die stoffliche Verwertung auf den Gärrest bezieht. Der anaerobe Abbau der organischen Fraktionen bringt 663 Liter Biogas pro kg organischer Trockenmasse, mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung von 56 % CH<sub>4</sub> und 44 % CO<sub>2</sub>. Dies entspricht 155 L Biogas pro kg Originalsubstrat. Der Gärrest besteht hauptsächlich aus den nicht abbaubaren Kunststoffbestandteilen, anhaftender Biomasse und Superabsorber. Der Heizwert der „Kunststofffraktion“ beträgt ca. 12 MJ pro kg, bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 42 %.

### **Keywords**

Inkontinenzabfall, Windeln, thermophiler anaerober Abbau, Biogas, kontinuierliche Nassvergärung

incontinence waste, diapers, thermophilic anaerobic digestion, biogas, continuous wet fermentation



# 1 Einleitung

## 1.1 Das Forschungsvorhaben „INKOCYCLE“

Infolge des demografischen Wandels in Europa wird das Aufkommen an Inkontinenzabfällen (gebrauchte Erwachsenenwindeln) deutlich zunehmen. Deutschlandweit handelt es sich derzeit um eine geschätzte jährliche Menge von 200.000 Tonnen Inkontinenzabfall (MEYER, 2014). Dies entspricht einem Anteil von ca. 1,4 % am gesamten in Deutschland anfallenden Restmüll (DESTATIS, 2014). Der Anteil an Inkontinenzabfall im Restmüllaufkommen von Pflegeeinrichtungen liegt bei ca. 60 bis 80 %, Tendenz steigend (BECHER, 2009). Die damit verbundenen hohen Kosten verlangen für diesen Abfallstrom ein wirtschaftliches und ökologisches Managementsystem.

Aufgrund des Verbotes der Ablagerung organischer Abfallstoffe auf Deponien besteht derzeit die einzige gesicherte Entsorgungsmöglichkeit in der Verbrennung der gebrauchten Inkontinenzprodukte. Ziele des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Forschungsvorhabens „INKOCYCLE“ (Förderkennzeichen: 03FH006PX2) sind die Entwicklung einer kostengünstigen und ökologisch sinnvollen Alternative zum bestehenden Entsorgungsweg sowie die Entwicklung eines Gesamtkonzeptes zur Verwertung von Inkontinenzabfällen unter Einbeziehung eines Logistikkonzeptes. Die Verwertung erfolgt durch die anaerobe Umsetzung der biologisch abbaubaren Abfallkomponenten in Biogas kombiniert mit der Nutzung des getrockneten Gärrestes (primär Kunststoffe) als Ersatzbrennstoff.

## 1.2 Inkontinenzprodukte

Inkontinenzprodukte für Erwachsene wurden in Europa in den späten 1960er Jahren eingeführt. Die Produkte sind an die Bedürfnisse der Anwender, deren Geschlecht und die Stärke der Inkontinenz angepasst. Die Verwendung von Inkontinenzprodukten ermöglicht es den Benutzern ihre Menschenwürde zu wahren und sich ohne negative Auswirkungen ihrer Erkrankung in ihrem sozialen Umfeld zu bewegen. Des Weiteren können moderne Inkontinenzprodukte den Ausschlag dafür geben, ob an Inkontinenz leidende Personen in ihrem häuslichen Umfeld wohnen bleiben können oder in eine Pflegeeinrichtung umziehen müssen (EDANA, 2012).

Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden drei Typen von Inkontinenzprodukten unterschieden: Windeln für Stuhl- und Urininkontinenz, Vorlagen für Urininkontinenz und Betauflagen für den zusätzlichen Schutz von Betten, Rollstühlen und Sitzmöbeln. Diese Produkttypen haben aufgrund ihrer verschiedenen Anforderungen unterschiedlich Formen, sind aber in ihrem Prinzip ähnlich aufgebaut und weisen die gleichen Produktkomponenten bei jedoch unterschiedlichen Massenanteilen auf.



Ein modernes Inkontinenzprodukt besteht zum größten Teil aus einem mehrlagigen Zellstoffkörper und einem darin eingearbeiteten absorbierenden Polymer (Superabsorber). Die Aufgabe des Superabsorbers ist die Aufnahme und Speicherung des Urins. Darüber hinaus verhindert er die bakterielle Zersetzung des Urins in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid, somit wird einer Geruchsbildung vorgebeugt. Auf der körperzugewandten Seite ist ein hautverträgliches Vlies aus Polypropylen eingearbeitet. Eine flüssigkeitsundurchlässige Folie aus Polyethylen sorgt für den Schutz der Kleidung und der Umgebung des Betroffenen. Elastische Bündchen gewährleisten eine gute Passform und verhindern ein Austreten von Urin oder Fäkalien.

Im Folgenden sind die prozentualen Zusammensetzungen der unterschiedlichen Typen von Inkontinenzprodukten grafisch dargestellt. Unter der Kategorie „Sonstiges“ sind Komponenten wie Klebestreifen (zum Fixieren) und Gummibänder (für den angenehmeren Tragekomfort) zusammengefasst.

Erwachsenenwindeln unterscheiden sich von ihrem strukturellen Aufbau nicht wesentlich von Babywindeln. Die Konstruktion muss sich allerdings an die herrschenden Gegebenheiten, wie das höhere Gewicht und Volumen der Ausscheidungen anpassen, daher gibt es Unterschiede in der Verteilung der Produktkomponenten.

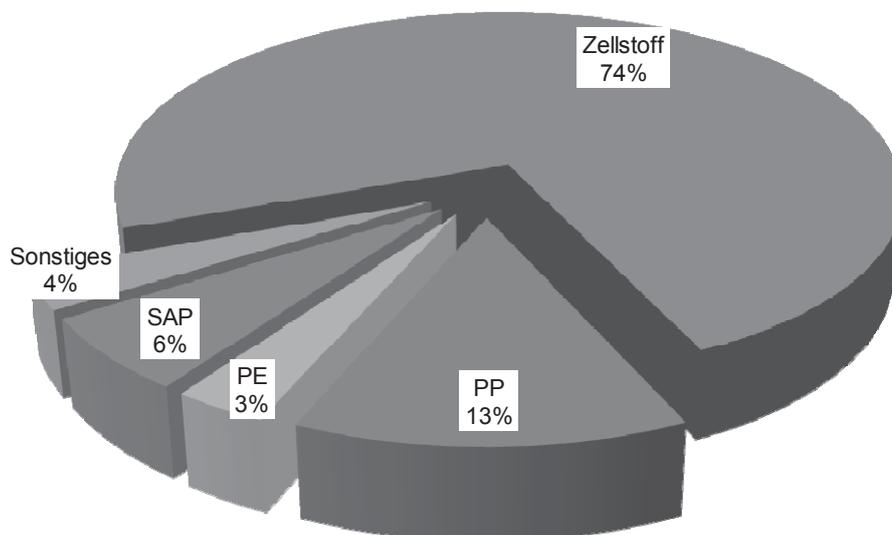


Abbildung 1 prozentuale Zusammensetzung von Erwachsenenwindeln (ABENA, 2013)

Inkontinenzvorlagen sind ähnlich aufgebaut wie Windeln, allerdings fehlen ihnen die seitlichen Flügel sowie eine Fixiermöglichkeit am Körper. Zur Fixierung werden spezielle Netz- oder Schutzhosen verwendet.

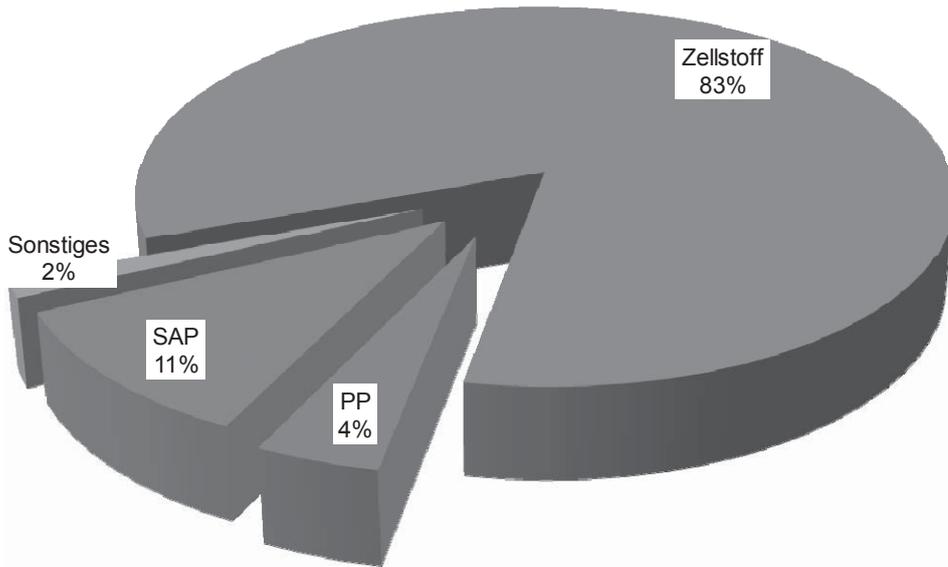


Abbildung 2 prozentuale Zusammensetzung von Inkontinenzvorlagen (ABENA, 2013)

Bett- oder Krankenunterlagen gehören zu den körperfernen Hilfsmitteln und bestehen meist aus mehreren Lagen Zellstoff und einer Folie als Feuchtigkeitsschutz. Es gibt Arten mit und ohne den Zusatz von Superabsorbentern.

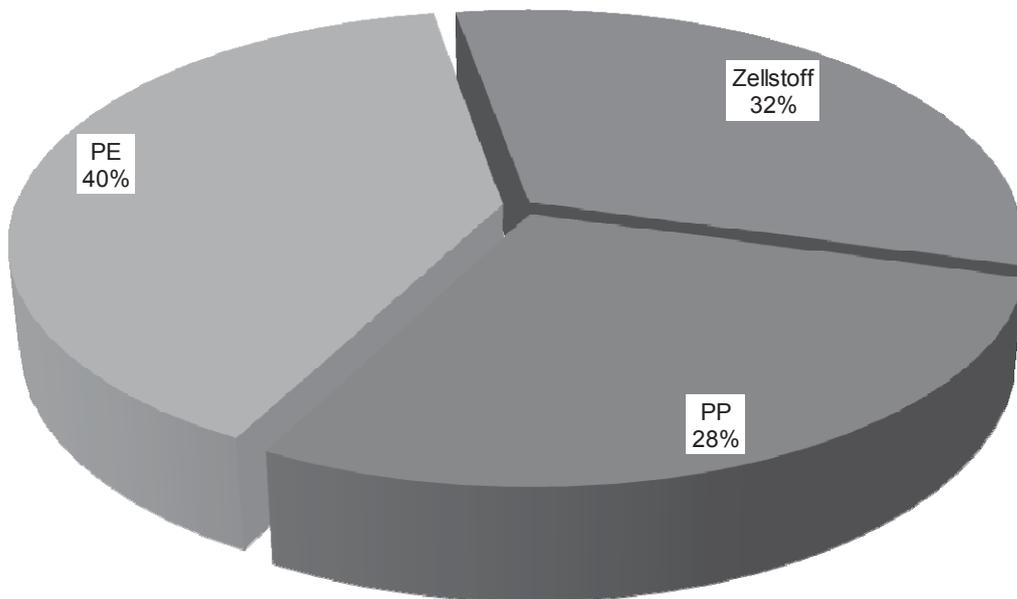


Abbildung 3 prozentuale Zusammensetzung von Bettauflagen (ABENA, 2013)



## 2 Material und Methoden

### 2.1 Trennungs- und Sammelkonzept

Die Sammlung von Inkontinenzabfällen in Pflegeheimen ist aufgrund des zentralen Anfalls wesentlich einfacher als eine Sammlung in Einzelhaushalten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „INKOCYCLE“ werden die Inkontinenzabfälle auf einer Pflegestation mit einer vollstationären Pflege von 21 Bewohnern erfasst.

Das medizinische Fachpersonal sammelt die gebrauchten Inkontinenzprodukte direkt in den Patientenzimmern in getrennten Behältern. Dies verhindert eine Vermischung mit anderen Abfallfraktionen. Mit Hilfe eines dezentralen Hygiene Systems, [Inko)(naut, THEOcare GmbH] wird der getrennt erfasste Inkontinenzabfall anschließend vakuumiert. Diese Behandlung ermöglicht zum einen eine hygienische Lagerung und führt zum anderen zu einer erheblichen Volumenreduktion, zeitgleich erfolgt eine Geruchsminimierung. (THEOCARE, 2014)

Zu Beginn der Sammlung wurde ein besonderes Augenmerk auf eventuelle Fehlwürfe durch das Pflegepersonal gerichtet. Durch die Einbindung der Mitarbeiter in das Forschungsvorhaben und eine gezielte Unterweisung, konnte sichergestellt werden, dass es zu keiner Vermischung des Inkontinenzabfalls mit anderen Abfallfraktionen, insbesondere mit potentiell infektiösem Material oder spitzen Gegenständen, kam.

### 2.2 Erfassung und Bilanzierung des Inkontinenzabfalls

Aufgrund der Vielzahl verwendeter Inkontinenzprodukte erfolgten zunächst eine genaue Erfassung und eine anschließende Bilanzierung des Inkontinenzabfalls. Hierzu wurden die Inkontinenzprodukte aus den vakuumierten Säcken identifiziert und sortiert, anschließend gezählt und gewogen.

Auf Grundlage der Herstellerangaben über die im Produkt enthaltenen Komponenten sowie deren typbezogenen Massenanteile (ABENA, 2013) und den Sortiererergebnissen konnten einerseits die stoffliche Zusammensetzung des Inkontinenzabfalls bestimmt und andererseits auf Parameter wie die durchschnittliche Beladung mit Urin und/oder Fäzes sowie auf die Massen der biologisch abbaubaren Bestandteile geschlossen werden.

Die Grundlage für die Berechnung der organisch abbaubaren Anteile des Inkontinenzabfalls ist in Abbildung 4 grafisch dargestellt. Die Beladung der verschiedenen Produkttypen wurde während der Sortierung abgeschätzt und folgendermaßen festgelegt: Windeln sind zu 80 % mit Urin und 20 % mit Fäzes, Vorlagen und Betauflagen zu 90 % mit Urin und 10 % mit Fäzes beladen. Die in Abbildung 4 aufgeführten Werte für den orga-



nischen Trockensubstanzgehalt (oTR) stammen aus der Literatur (DWA, 2008) und aus eigenen Messungen.



Abbildung 4 grafische Darstellung der Grundlage für die Berechnung der organisch abbaubaren Anteile des Inkontinenzabfalls

## 2.3 Thermophile anaerobe Behandlung

Die anaerobe Behandlung der gebrauchten Inkontinenzprodukte erfolgt mittels thermophiler Nassfermentation nach Animpfung mit Faulschlamm aus einer kommunalen Kläranlage. Der horizontal liegende Fermenter weist ein Volumen von ca. 1000 Liter auf und wird in einem Temperaturbereich von 53 bis 57 °C betrieben.

Die gebrauchten Inkontinenzprodukte werden nach ihrer Erfassung mithilfe eines Zerkleinerungsaggregats geschreddert und in zerkleinerter Form in den Aufgabetrichter des Eintragungssystems gegeben. Die hierin befindliche Förderschnecke beschickt den Reaktor über einen hydraulisch dichten Aufgabetrichter in getakteten Intervallen. Zeitgleich mit der Substratzugabe erfolgt die Dosierung von Prozesswasser in den Aufgabetrichter, um das Einbringen des Materials in den Fermenter zu erleichtern. Ein intervallweise betriebenes horizontal liegendes Paddelrührwerk sorgt für eine homogene Umwälzung des Fermenterinhalt und erleichtert den Austrag des gebildeten Biogases. Das Biogas wird über einen Gasdom abgeleitet und das Volumen mittels Trommelgaszähler erfasst. Die Gaszusammensetzung wird diskontinuierlich gemessen (Probenahme mittels Gassack). Der Gärrest wird durch Verdrängung über einen Siphon auf ein 2 mm Sieb ausgetragen und hierbei vom Prozesswasser getrennt. Das Prozesswasser wird als Rezyklat in den Fermenter zurückgeführt.



## 2.4 Behandlung des Gärrestes

Der Gärrest besteht nach Passage des Fermenters und der Entfernung des Prozesswassers überwiegend aus den nicht biologisch abbaubaren Kunststoffbestandteilen der Inkontinenzprodukte. Ebenfalls enthalten sind daran anhaftende Biomasse, ein Teil des in den Inkontinenzprodukten verwendeten superabsorbierenden Polymers und ein großer Anteil anhaftender Flüssigkeit.

Für eine weitergehende Behandlung des Gärrestes muss die Kunststofffraktion zwingend von dem anhaftenden Superabsorber befreit werden, da aufgrund dessen gallertartiger Konsistenz eine Entwässerung nur schwer möglich ist. Die Abtrennung des Superabsorbers erfolgt durch zwei aufeinander folgende Waschgänge. Hierzu werden 10 kg des Gärrestes in eine Waschtrommel gegeben und jeweils mit 40 Liter Brauchwasser behandelt. Das Waschwasser wird durch Siebung (0,1 mm) von dem darin befindlichen Superabsorber befreit und anschließend in einer aeroben Laborkläranlage behandelt.

Der gewaschene Gärrest besteht zum überwiegenden Teil aus den Kunststoffbestandteilen und wird nunmehr als „Kunststofffraktion“ bezeichnet. Die weitere Entwässerung erfolgt mithilfe einer Hydropresse bei einem Arbeitsdruck von 3 bar.

## 2.5 Hygienisierungsuntersuchungen

Für eine weitere Verwendung der Kunststofffraktion ist es notwendig dessen hygienische Unbedenklichkeit sicherzustellen. Des Weiteren muss die Hygienisierungsleistung des Fermentationsprozesses gemäß gültiger Rechtsvorschriften (DüMV, BioAbfV) nachgewiesen werden.

Unter Hygienisierung versteht man eine Reduktion aktiver bzw. koloniebildender Einheiten um mindestens 4, typischerweise 5 log-Stufen, also um 99,99 bzw. 99,999 %. Der Nachweis der Hygienisierungsleistung des eingesetzten anaeroben Fermenters wurde mittels mikrobiologischer Untersuchungen von In- und Outputproben (zerkleinerter Inkontinenzabfall, ungewaschener Gärrest) durchgeführt. Im Zeitraum von 10 Tagen wurden jeweils 5 Proben vor und nach der Behandlung genommen und mikrobiologisch auf die Gesamtkeimzahl bei 37 °C, E. coli, Fäkalstreptokokken und Salmonellen untersucht.



## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Zusammensetzung des Inkontinenzabfalls

Der Inkontinenzabfall der Pflegestation setzt sich aus 72 % Windeln, 20 % Betauflagen und 8 % Vorlagen zusammen.

Darin enthalten sind 38 % organisch abbaubare Bestandteile und 18 % nicht organische Bestandteile. Die größten Bestandteile des Inkontinenzabfalls bestehen aus Urin (37 %) und Zellstoff (35 %).

Sowohl die Zusammensetzung des Abfalls, als auch die Verteilung der organischen und nicht organischen Bestandteile sind von dem Typ (siehe Abbildung 1 bis 3) und dem Hersteller der verwendeten Inkontinenzprodukte abhängig. Es ist daher zu erwarten, dass sich die Abfälle einzelner Pflegeeinrichtungen unterscheiden.

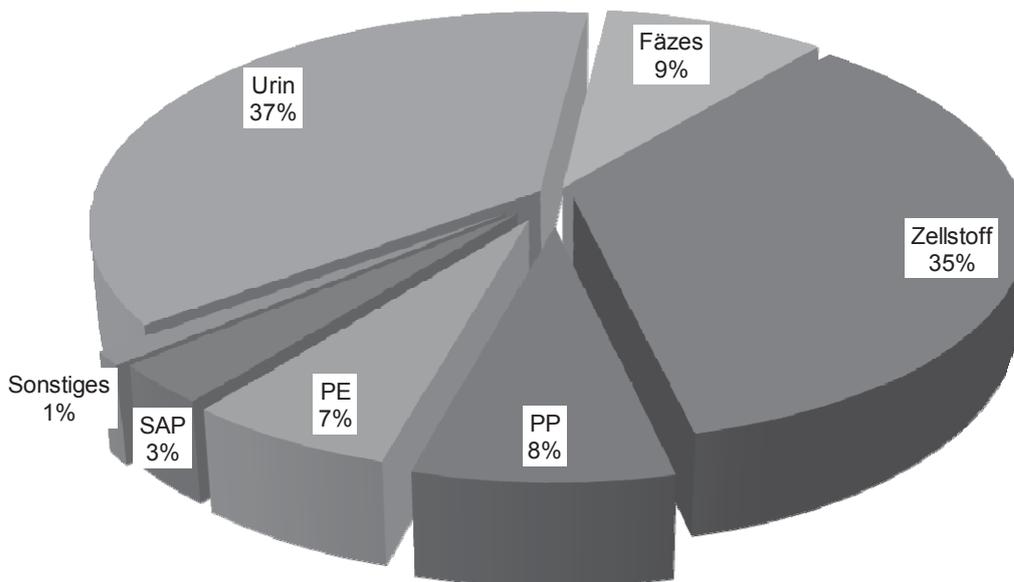


Abbildung 5 prozentuale Zusammensetzung des Inkontinenzabfalls aus einer Pflegeeinrichtung

### 3.2 Anaerober biologischer Abbau

#### 3.2.1 Adaptionphase

Der Fermenter wurde zu Versuchsbeginn mit kommunalem mesophilen Faulschlamm befüllt. Die Umstellung von mesophilen (35 °C) auf thermophile (55 °C) Temperaturbedingungen erfolgte durch zwei Temperaturerhöhungsschritte. In der ersten Aufheizphase wurde die Fermenterinnentemperatur innerhalb von drei Tagen auf 42 °C angehoben. Nach einer Haltezeit von 5 Tagen erfolgte die zweite Temperaturerhöhung eben-



falls innerhalb von drei Tagen auf die Endtemperatur von 55 °C. Als Substrat diente während dieser Phasen eine tägliche Zugabe von im Mittel 15 kg Klärschlamm.

Der Umstellungsprozess wurde durch die Messung der organischen Säuren überwacht. Bei einem stabilen Faulprozess befindet sich die Hydrolyse mit der acidogenen, der acetogenen und der methanogenen Phase im Gleichgewicht. Eine Störung des anaeroben Abbaus zeigt sich durch eine Zunahme der Konzentration organischer Säuren. Während der Umstellung auf den thermophilen Betrieb kommt es zu einer Veränderung des Gleichgewichtes, da eine höhere Temperatur die Hydrolysekonstante anhebt, bis sich die Biomasse an die geänderten Bedingungen angepasst hat. Nach 16 Tagen Umstellphase wurde keine Schwankung in dem oben genannten Parameter festgestellt und ein stabiler thermophiler Betrieb hatte sich eingestellt.

Nach Erreichen des stabilen thermophilen Prozesses wurde die Umstellung auf das Substrat Inkontinenzabfall vorgenommen. Die Klärschlammzugabe in den Fermenter wurde eingestellt und als Startwert eine tägliche Zugabemenge von 4 kg Inkontinenzabfall (Frischmasse) gewählt. Die Substratmenge wurde in 2 kg Schritten alle 5 Tage bis auf 8 kg erhöht. Hierbei kam es nicht zu Störungen des anaeroben Abbaus. Im Verlauf des Betriebs der Versuchsanlage wurde die Substratmenge bis auf max. 12 kg/d gesteigert.

### 3.2.2 Gasproduktion und -qualität

Durch den anaeroben biologischen Abbau der organischen Bestandteile der Inkontinenzprodukte konnten durchschnittlich 663 Liter Biogas pro Kilogramm organischem Trockenrückstand gebildet werden, dies entspricht einer Biogasproduktion von 155 Liter pro Kilogramm Frischmasse. Das Biogas bestand im Mittel aus 56 % Methan und 44 % Kohlendioxid, Schwefelwasserstoff war durchschnittlich mit 250 ppm enthalten. Die erzielten Werte sind vergleichbar mit den in der Literatur angegebenen Werten für Roggenganzpflanzen oder Grassilage (FNR, 2004). Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen der Biogasbestandteile.

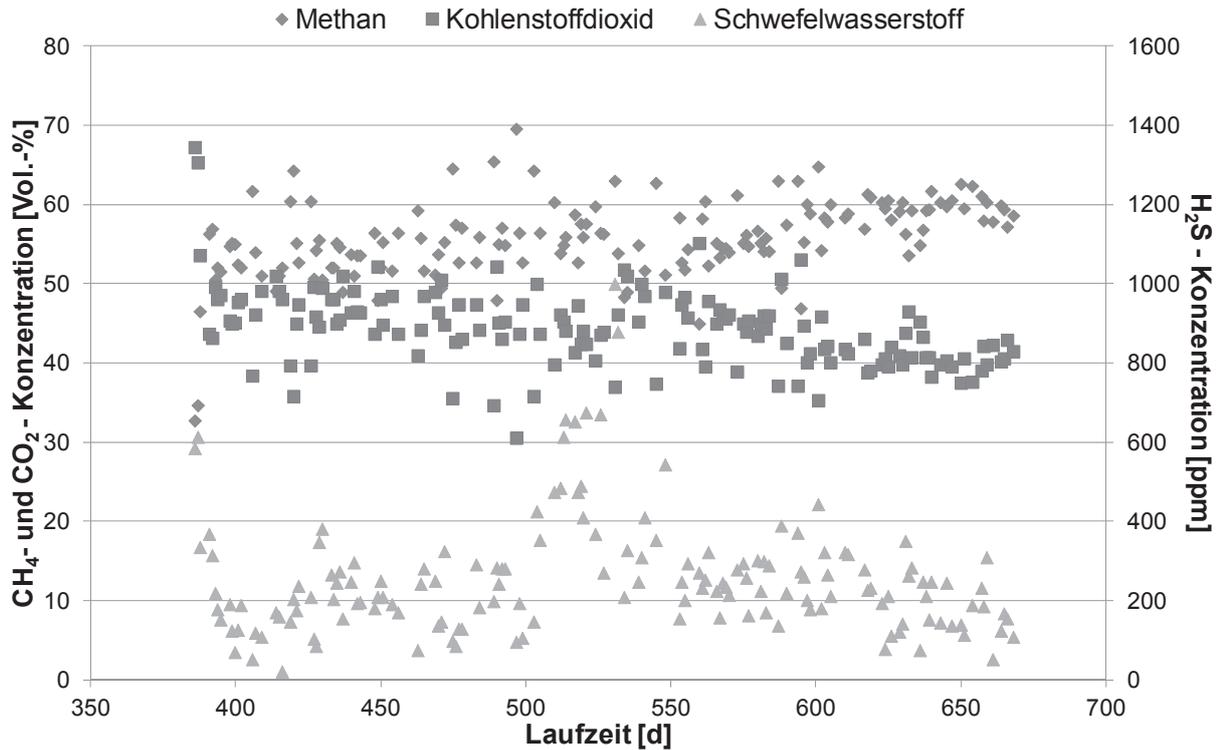


Abbildung 6 zeitlicher Verlauf der Konzentration der Biogasbestandteile

### 3.3 Zusammensetzung und Verwertbarkeit der Kunststofffraktion

Die aus dem Gärrest stammende Kunststofffraktion beinhaltet alle nicht biologisch abbaubaren Bestandteile der Inkontinenzprodukte, eine geringe Menge Biomasse (ca. 2 %) und weist einen Feuchtegehalt von 58 % auf. In Abbildung 7 ist die prozentuale Zusammensetzung der Kunststofffraktion dargestellt.

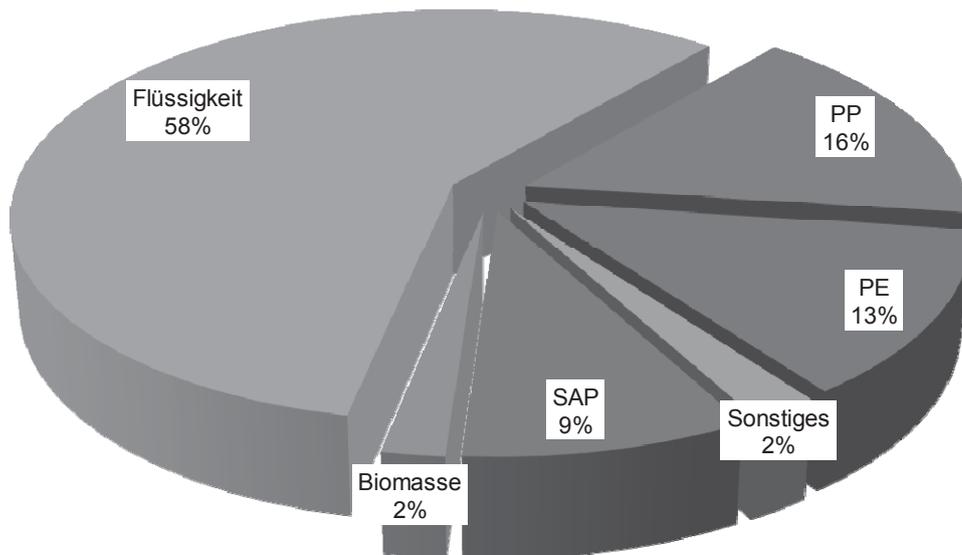


Abbildung 7 prozentuale Zusammensetzung der Kunststofffraktion

Ein möglicher Verwertungsweg für die Kunststofffraktion wäre das werkstoffliche Recycling. Die Kunststoffe könnten somit in neuen Produkten eine weitere Verwendung finden.



den. Die Kunststoffmischung scheint grundsätzlich für ein werkstoffliches Recycling geeignet, da die Komponenten PP und PE miteinander verträglich sind. Das Kunststoffrecycling wird allerdings durch hohe Ansprüche an die Sortenreinheit und das Mengenaufkommen erschwert. Alle bisher angesprochenen Kunststoffrecyclenden Firmen wollten die „Kunststofffraktion“ trotz des Nachweises der Hygienisierung (siehe Absatz 3.4) aufgrund ihrer Zusammensetzung, aber auch ihrer zu geringen Menge nicht annehmen.

Eine weitere Möglichkeit stellt die thermische Verwertung der Kunststofffraktion dar. Der Heizwert gebrauchter Inkontinenzprodukte liegt bei 7.400 bis 9.000 kJ/kg (MEIER-CIOSTO, 2002). Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenze von 11.000 kJ/kg, daher kann gemäß §6 Abs. 2 KrW-/AbfG nicht von einer energetischen Verwertung gesprochen werden.

Da dies möglicherweise auf den Gärrest nicht zutrifft wurde die Kunststofffraktion wurde kalorimetrischen Messungen unterzogen. Im Mittel weist sie einen Heizwert von  $11.862 \pm 578$  kJ/kg Originalsubstanz, bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 58 % auf. Somit ist es durch die vollzogene Behandlung möglich, die Inkontinenzprodukte statt einer Beseitigung einer Verwertung zuzuführen. Mit der Verringerung des Feuchtigkeitsgehaltes der Kunststofffraktion wird der Heizwert weiter ansteigen.

### 3.4 Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen

Vor der Behandlung wurden mindestens 11.000.000 KBE/g Fäkalstreptokokken nachgewiesen, die Konzentration der E. coli bewegte sich im Bereich 9.300 bis 11.000.000 KBE/g. Der Salmonellenbefund war sowohl im Input als auch im Output negativ. Fäkalstreptokokken und E. coli zeigten im Output eine Reduktion der Koloniebildenden Einheiten ( $< 5.000$  KBE/g für Fäkalstreptokokken,  $< 3$  bzw.  $4$  bis  $460$  KBE/g) (INFU, 2015).

## 4 Schlussfolgerung

Es konnte gezeigt werden, dass durch die Auftrennung des Inkontinenzabfalls in eine biologisch abbaubare und eine nicht abbaubare Fraktion gelingen kann den Entsorgungsweg für Inkontinenzabfälle in Richtung einer Verwertung umzustellen. Die Kunststofffraktion aus den Inkontinenzprodukten kann als Ersatzbrennstoff möglicherweise in thermischen Verfahren eingesetzt werden. Durch die Verringerung des Feuchtigkeitsgehalts steigt deren Heizwert weiter an. Entsprechende Versuche mit unterschiedlichen Trocknungsverfahren sind in Planung.



Durch den anaeroben Abbau der biologischen Bestandteile kann aus dem Inkontinenzabfall ein Biogas verwertbarer Qualität gewonnen werden. Nach Abscheidung des Schwefelwasserstoffs kann in einem BHKW Strom gewonnen werden.

## 5 Ausblick

Im Verlauf des Projektes werden weitere Standorte des beteiligten Klinikverbundes in die Untersuchungen einbezogen. Ein Ziel ist es, den anfallenden Massenstrom an Inkontinenzabfall theoretisch zu erhöhen. Dies erfolgt zunächst durch Einbeziehung der anderen Klinikstandorte, gegebenenfalls wird das Einzugsgebiet auf weitere Pflegeeinrichtungen in direkter Nachbarschaft zu den Klinikstandorten ausgeweitet. Mithilfe dieser Daten sollte es möglich sein, eine großtechnische Anlage zu planen und deren Effizienz zu bestimmen. Des Weiteren sollen die Auswirkungen der logistischen Aufwendungen (Fahrstrecken, Abholhäufigkeit, etc.) erfasst werden. Der herkömmliche Entsorgungsweg durch Verbrennung wird mit der anaeroben Behandlung kombiniert mit dem Einsatz der Kunststofffraktion als Ersatzbrennstoff, unter Einbeziehung einer Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz verglichen.

## 6 Literatur

Abena	2013	Produktdaten Abena GmbH, Zörbig.
Becher, E.	2009	Ein Entsorgungs- und Energiekonzept spart Rohstoffe und Geld „Windel-Willi für saubere Geschäfte“. Entsorga Magazin 10. Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main, ISSN: 0933-3754
Destatis	2014	Abfallbilanz 2012; Statistisches Bundesamt
DWA	2008	DWA-Themen, Neuartige Sanitärsysteme. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, ISBN: 978-3-941089-37-2
Edana	2012	Daten und Fakten Inkontinenzprodukte. Edana. <a href="http://www.edana.org">www.edana.org</a>
FNR	2004	Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, 2004. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., ISBN 3-00-014333-5
INFU	2015	INFU mbH, Geschäftsbereich PlanCoTec, Neu-Eichenberg



Meier-Ciosto	2002	Entsorgung von Windel- und Inkontinenzabfall. Abteilung: Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz. Bayrisches Landesamt für Umwelt
Meyer, P.; Meyer, P.; Neuhaus, T.	2013	Ökologische Bilanz der Entsorgung von Inkontinenz-System-Abfall aus öffentlichen Einrichtungen. Fachzeitschrift Müll und Abfall. Erich Schmidt Verlag, Berlin
THEOcare	2014	Produktupdate 2014 INKO)(naut. THEOcare Hygiene GmbH. <a href="http://www.theocare.de">www.theocare.de</a>

**Anschrift der Verfasser(innen):**

Prof. Dr. Ulf Theilen  
Technische Hochschule Mittelhessen  
Wiesenstraße 14  
D-35390 Gießen  
Telefon +49 641 309 1836  
Email [Ulf.Theilen@bau.thm.de](mailto:Ulf.Theilen@bau.thm.de)  
Website: [www.thm.de](http://www.thm.de)

Prof. Dr. Harald Weigand  
Email [Harald.Weigand@kmub.thm.de](mailto:Harald.Weigand@kmub.thm.de)

Dipl.-Ing. Johanna Heynemann, M.Sc.  
Email [Johanna.Heynemann@zeuus.thm.de](mailto:Johanna.Heynemann@zeuus.thm.de)

Dipl.-Ing. Steffen Herbert  
Email [Steffen.Herbert@kmub.thm.de](mailto:Steffen.Herbert@kmub.thm.de)

Dipl.-Ing. Thomas Luthardt-Behle  
Email [Thomas.Luthardt-Behle@bau.thm.de](mailto:Thomas.Luthardt-Behle@bau.thm.de)