

# **Entwicklung eines anaeroben Verfahrens mit dem Ziel der Biogasgewinnung aus schlichtehaltigen Textilabwässern**



**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der  
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)**  
im  
**Fachbereich D – Architektur, Bauingenieurwesen, Maschinenbau,  
Sicherheitstechnik**  
der  
**Bergischen Universität Wuppertal**  
**- Abteilung Sicherheitstechnik -**

Vorgelegt von  
**Dipl.-Ing. Marius Kerkering, M.Sc.**

aus Greven (geb. in Coesfeld)

am 15. Oktober 2014

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Joachim M. Marzinkowski
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Schmidt
3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Dezember 2014



Wuppertaler Reihe zur Umweltsicherheit

**Marius Kerkering**

**Entwicklung eines anaeroben Verfahrens mit dem  
Ziel der Biogasgewinnung aus schlichtehaltigen  
Textilabwässern**

Shaker Verlag  
Aachen 2015

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3510-0

ISSN 1861-1001

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Die vorliegende Arbeit entstand unter Leitung von

Prof. Dr. Joachim M. Marzinkowski

von der Bergischen Universität Wuppertal

Fachbereich D

und

Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

von der Fachhochschule Münster, Steinfurt

Fachbereich Energie-Gebäude-Umwelt

in der Zeit von Oktober 2011 bis Oktober 2014

## **DANKSAGUNG**

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Joachim M. Marzinkowski für die Möglichkeit zur Anfertigung dieser Arbeit an der Bergischen Universität Wuppertal sowie für seine stete Unterstützung und Diskussionsbereitschaft bedanken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Eberhard Schmidt möchte ich für die Übernahme des Korreferates und die fruchtbaren Diskussionen im Seminar Sicherheitstechnik/Umweltschutz danken.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter möchte ich für seine langjährige Unterstützung und sein Vertrauen in mich und meine Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter danken.

Herrn Prof. Dr. rer. pol. Ralf Pieper danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.

Den Mitarbeitern im Forschungsteam des Fachbereiches Energie-Gebäude-Umwelt der Fachhochschule Münster danke ich für die stets gute Zusammenarbeit. Insbesondere danke ich Herrn Dr.-Ing. Elmar Brüggling, der mir während der gemeinsamen Bearbeitung vieler Projekte viel Unterstützung und Anregungen geliefert hat. Dies gilt in gleicher Weise für Herrn Daniel Baumkötter, der in zahlreichen Gesprächen sein Interesse an meiner Arbeit gezeigt und mir mit fachkundigen Hinweisen und Diskussionen weitergeholfen hat.

Für die Bereitstellung von Daten und Abwässern danke ich Herrn Gerd Schulte-Mesum der Firma Anton Cramer GmbH und Herrn Dr. Jürgen Kube der Firma AgraFerm Technologies sowie Herrn Ralf Rensmann der Firma Hermann Biederlack GmbH & Co. KG.

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, danke ich für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeiten.

Meinen Eltern danke ich für die fortwährende Unterstützung während der gesamten Studien- und Promotionszeit. Ganz besonders danke ich meiner Frau Stefanie für ihre Unterstützung und ihr Verständnis.

Marius Kerkering

Greven, Oktober 2014

## INHALTSVERZEICHNIS

Danksagung	IV
Kurzfassung	VII
Abstract	IX
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Prozessschritte der Baumwollgewebeerledlung	5
3 Schlichtemittel und Entschlichtung	9
3.1 Nutzung von Schlichtemitteln in der Textilerzeugung	9
3.2 Natürliche Schlichtemittel	10
3.3 Synthetische Schlichtemittel	13
3.4 Schlichtemittel-Mischung im untersuchten Betrieb	13
3.5 Chemische Hilfsmittel zur Vorbehandlung	15
4 Grundlagen des anaeroben Abbaus	17
4.1 Stufen und Strukturen des mikrobiellen anaeroben Abbaus von organischen Polymeren	17
4.2 Hemmungen des anaeroben Abbaus	22
5 Anaerobe Abwasserbehandlung	27
5.1 Vor- und Nachteile einer anaeroben Abwasserbehandlung im Vergleich zu aeroben Verfahren	27
5.2 Verfahrenstechnik und Reaktortypen in der Anaerobtechnik	28
5.3 Etablierte Beispiele für anaerobe Hochlastverfahren	32
5.4 Biologische Behandlung von Textilabwässern	34
6 Entwicklung einer Systematik zur Bestimmung von Biogaserträgen aus Textilabwässern	40
6.1 Berechnung von Biogaserträgen	40
6.2 Bestimmung von Biogaserträgen über Eudiometerversuche	45
6.3 Durchführung von Hemmstofftests	50
6.4 Durchführung von Separationsversuchen	50
7 Versuchsaufbau des halbtechnischen Versuchsstands	52
7.1 Kontinuierlich betriebener Rührkesselreaktor	53
7.2 Hochlast-Reaktor	55
7.3 Zweistufiges System	57
8 Ergebnisse und Diskussion der Eudiometerversuche	60
8.1 Gaserträge aus den Einsatzstoffen im Textilbetrieb	60
8.2 Gaserträge aus der Vergärung von Abwässern der Entschlichtung	61

8.3	Einfluss des Einsatzes einer Senge auf die Vergärung der Abwässer	64
8.4	Einfluss von baulichen Änderungen zur Energie- und Wassereinsparung auf die Vergärung der Abwässer	65
8.5	Zumischung von Faserstoffen und Zugabe von Spurenelementen	70
8.6	Einfluss der Umstellung der Schlichterezeptur auf die Vergärung der Abwässer	72
9	Übertragung der Batch-Ergebnisse auf das kontinuierliche System	86
9.1	Allgemeine kinetische Betrachtung	86
9.2	Monod-Kinetik	89
9.3	Modell von Hill und Barth	91
9.4	Modell nach der Gompertz-Funktion	92
9.5	Vergleich der Modelle	92
9.6	Übertragung der Versuchsdaten auf ein kontinuierliches Reaktorsystem	94
10	Ergebnisse und Diskussion der halbtechnischen Versuche	97
10.1	Einstufiger anaerober Abbau im Kontaktverfahren	97
10.2	Einstufiger anaerober Abbau im Hochlastverfahren	108
10.3	Zweistufiger anaerober Abbau im Hochlastverfahren	113
11	Massenbilanzierung und Auslegung der Abwasserbehandlung	123
12	Zusammenfassende Diskussion und Ausblick	127
12.1	Konditionierung von Textilabwässern aus der Baumwollgewebeerledung zur anaeroben Vergärung	127
12.2	Co-Vergärung von schlichtehaltigem Textilabwasser im Faulturm	131
12.3	Anaerobe Behandlung von schlichtehaltigem Textilabwasser in Hochlastreaktoren	135
12.4	Vergleich der Reaktorsysteme zur anaeroben Behandlung von Textilabwasser	139
13	Zusammenfassung	141
14	Verzeichnisse	147
14.1	Literaturverzeichnis	147
14.2	Abkürzungsverzeichnis	154
14.3	Formelzeichenverzeichnis	157
14.4	Abbildungsverzeichnis	158
14.5	Tabellenverzeichnis	161
14.6	Formelverzeichnis	164

Ein Warenzeichen kann warenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

## **KURZFASSUNG**

Die Reduzierung der Energieverbräuche durch energieeffiziente Verfahren und eine effiziente Nutzung von Rohstoffen in Unternehmen der Textilveredlung ist entscheidend für die Sicherung der Produktionsstandorte in Deutschland. Die hohe Importabhängigkeit von Primärenergiequellen zur Erzeugung von Energie in Form von Elektrizität, Wärme und Mobilität erzeugt stetig steigende Kosten und erschwert damit die Wirtschaftlichkeit produzierender Verfahren in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Ziel muss es daher sein, Verfahren effizienter zu gestalten und die Menge der Einsatzstoffe soweit zu reduzieren, wie es die Produktqualitäten zulassen. Nach Möglichkeit folgt der stofflichen die energetische Nutzung der Einsatzstoffe, um hierdurch einer Verwertung vor der Beseitigung Vorrang zu geben.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem anaeroben Abbau von Abwässern aus Betrieben der Textilveredlung, insbesondere von Abwässern der Entschlichtung von Baumwolltextilien. Die Kettgarne werden vor dem Webprozess mit filmbildenden Stoffen, sogenannten Schlichtemitteln, beschichtet, um ein Aufreiß- und Reißen des Garns während der Durchgänge durch den Webstuhl zu verhindern. Die Schlichtemittel müssen anschließend wieder aus dem Gewebe ausgewaschen werden und bilden im gesamten Abwasser der Textilveredlung den Teilstrom mit der höchsten organischen Fracht.

Üblicherweise wird diese Fracht über das Abwasser in der kommunalen Abwasserreinigungsanlage behandelt. In dieser wird mit hohem Energie- und Kostenaufwand der enthaltene Kohlenstoff in aeroben biologischen Prozessen in klimawirksames Kohlenstoffdioxid umgewandelt und so aus dem Abwasser entfernt. Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Verfahren, das es ermöglicht, den Schlichte enthaltenden Abwasser-Teilstrom innerbetrieblich in einer anaeroben Behandlungsanlage in Biogas umzuwandeln und dieses energetisch zu nutzen.

Eine Voraussetzung besteht darin, durch prozessintegrierte Maßnahmen eine möglichst hohe Konzentration der organischen Fracht im Abwasser zu erzeugen.

Hierdurch wird ein Multiplikatoreffekt erzeugt, der es dem Unternehmen erst ermöglicht, Wasser in Prozessen einzusparen, organische Frachten in Abwasserströmen zu reduzieren und zu nutzen sowie kommunale Abwasserreinigungsanlagen zu entlasten und dort sonst entstehende Emissionen zu vermeiden.

Hierzu wird zunächst ein Verfahren zur Bestimmung der anaeroben Vergärbarkeit von Textilabwässern sowie zur Bestimmung der Biogaserträge aus Textilabwässern entwickelt. Bestehende Hemmungen bestimmter Inhaltsstoffe der Textilabwässer werden ermittelt und durch Optimierungen in dem Waschprozess vermieden. Die erfolgreich vergärbaren Abwasserteilströme werden zur Entwicklung, Auslegung und Planung eines technischen Verfahrens in einer halbtechnischen, mehrstufigen Versuchsanlage zu Biogas umgesetzt. Ebenso werden mechanische Separationsverfahren untersucht, die bereits vor der biologischen Stufe organische Frachten entfernen und die Effizienz der biologischen Stufe erhöhen.

Für die Umsetzung der technischen Anlage wird diese mit den Erfahrungen in den Versuchen zur Vergärbarkeit und den halbtechnischen, kontinuierlichen Versuchen ausgelegt und geplant.

Neben dem Betrieb einer betriebsintegrierten Biogasanlage ist die energetische Nutzung des Abwassers in Form eines Konzentrates als Co-Substrat in der anaeroben Klärschlammstabilisierung der kommunalen Abwasserreinigungsanlage denkbar, wenn die Fracht an organischen Stoffen für einen wirtschaftlichen Betrieb einer betriebsintegrierten Biogasanlage nicht ausreichend ist.

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung eines weitgehenden anaeroben Abbaus der organischen Fracht der Abwässer aus der Veredlung von Baumwolltextilien und die wirtschaftliche Umsetzung eines Konzeptes zur Nutzung von schlichtehaltigen Textilabwässern zur Biogaserzeugung mit dem größtmöglichen Umweltnutzen für den Textilveredlungsbetrieb. Hierbei werden die Einflussgrößen der Verfahren der Textilveredlung auf die biologische Umsetzbarkeit, die verfahrenstechnische Umsetzung einer anaeroben Abwasserbehandlung und die Umsetzung im konkreten Betrieb untersucht und beschrieben.

## **ABSTRACT**

The reduction of energy consumption by energy efficient procedures and efficient use of raw materials in textile companies ensures a long-term securing of their production sites in Germany. The dependence on primary energy imports for energy production in the form of electricity, heat and mobility generates rising costs and has a direct influence on the economic efficiency of small and middle-sized enterprises, especially in the textile producing companies. The aim must be, to develop more efficient processes and to reduce the amount of raw materials by maintaining the product quality. After using the resources in the producing processes they should be used even for producing energy instead of their disposal.

This thesis describes the anaerobic degradation of effluents coming out of textile factories, especially out of the process of desizing the produced cotton textiles. In this process the fibres are coated with a sizing agent before they are processed to textiles. The sizing agents help to strengthen the fibres during the weaving process. These sizing agents need to be removed after weaving and make up the partial effluent-stream with the highest organic load in textile producing factories.

The organic loads of the effluents are usually treated in municipal sewage treatment plants. There the contained carbon is eliminated in aerobic biological processes into carbon dioxide with high demand of energy and costs. The produced carbon dioxide has an influence on climatic conditions in nature. This thesis describes a process, which enables the use of these sizing-containing effluents in the textile factory. For this the effluents are used in order to produce biogas in an anaerobic biological sewage treatment plant, which enables an energetic use.

A requirement is to produce a high substance concentration by applying process integrated improvements. This is part of a process-integrated environmental protection.

This process leads to a multiplier effect, enabling the corporation to save water in textile producing processes, to reduce and use organic loads in sewage streams plus discharging the municipal sewage treatment and saving the otherwise occurring emissions at the municipal treatment plant.

In the first instance a method to estimate both the anaerobic digestibility of the textile sewages and the biogas yields was developed. Existing inhibitions of certain ingredients of the textile sewages have been determined and avoided in the processes by improving

the washing process with adequate enhancements. The successfully digestible sewage streams are to be tested in a semi-technical, multistage experimental plant to develop, configure and plan a technical procedure to produce biogas. Likewise technical separations have been tested to increase the efficiency before entering the biological stage by eliminating the organic loads.

Besides using sewage to produce energy in an in-company plant, it can also be used in form of a concentrate as a co-substrate in the anaerobic stabilisation by fermentation in heated digester of the municipal sewage treatment plant. This can be done, if the organic load is not sufficient for establishing an in-house biogas plant.

The result of this current thesis is the description of an extensive decomposition of the organic load of sewage streams from the conditioning of textile cottons and the economic implementation of a concept for using sizing-containing textile sewage streams for producing biogas with greatest environmental benefit for the textile factory. The influencing variables of the textile producing processes on the biological feasibility, the procedural feasibility of an anaerobic sewage treatment and the practical implementation in the factory have been examined and described.