SCHRIFTENREIHE

des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

29

Herausgeber:

Bauhaus-Universität Weimar
Fakultät Bauingenieurwesen
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme

99423 Weimar, Coudraystraße 7

RHOMBOS-VERLAG · BERLIN

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

© 2015 RHOMBOS-VERLAG, Berlin
Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeisung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Impressum

Schriftenreihe des Bauhaus-Instituts für zukunftsweisende Infrastruktursysteme an der Bauhaus-Universität Weimar
16. Jahrgang 2015

Herausgeber der Schriftenreihe
Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen,
Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infratsruktursysteme
Coudraystraße 7, D-99423 Weimar

Verlag
RHOMBOS-VERLAG
Fachverlag für Forschung, Wissenschaft und Politik
Kurfürstenstr. 15/ 16, 10785 Berlin
Internet: www.rhombos.de
eMail: verlag@rhombos.de
VK-Nr. 13597

Druck
PRINT GROUP Sp. z o.o.
Printed in Poland

ISBN 978-3-944101-55-2

ISSN 1862-1406

Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is)

Das Bauhaus-Institut für zukunftsweisende Infrastruktursysteme (b.is) verfolgt das Ziel, die Kooperation der derzeit beteiligten Professuren Siedlungswasserwirtschaft, Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft und Urban Energy Systems zu intensivieren sowie die Honorarprofessur Urbanes Infrastrukturmanagement, um Lehr-, Forschungs- und Beratungssaufgaben auszubauen. So werden beispielsweise die Weiterentwicklung von Studiengängen, gemeinsame Doktorandenkolloquien oder gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt.

Das b.is will sich deutlich sichtbar im Bereich der Infrastrukturforschung aufstellen. Die Forschung und Lehre in diesem Bereich orientiert sich am medienübergreifenden Modell der nachhaltigen Gestaltung von Stoff- und Energieflüssen sowie ressourcenökonomisch ausgerichteten Systemen, die verbindendes Konzept der Kernprofessuren des Instituts sind. Die Professur Betriebswirtschaftslehre im Bauwesen ist mit dem b.is assoziiert.

Bauhaus-Institute for Infrastructure Solutions (b.is)

The Bauhaus-Institute for Infrastructure Solutions (b.is) aims to strengthen the cooperation of the university´s research teams in Urban Water Management and Sanitation, Biotechnology in Resources Management and Urban Energy Systems in the areas of teaching, research and consultancy work. This encompasses the further development of degree programmes, joint doctorate colloquia and joint research and development activities.

Currently the chair of urban water management and sanitation, the chair of biotechnology in resources management and the chair of urban energy systems as well as the honorary professorship for urban infrastructure management are members of the institute. The chair of construction economics is associated with the institute.

The b.is will increase its visibility in infrastructure research. Education and research are geared to the comprehensive model of sustainable material and energy flows and resource economy oriented systems, which are the linkage of the institute's chairs.

Gemeinsame Faulung von Klärschlamm und Fäzes unter extremen klimatischen Bedingungen – Beispiel Mongolei

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Geoökol. Christian Bruski
aus Witten

Gutachter:
1. Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong, Weimar
2. Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kraft, Weimar
3. Prof. Dr.-Ing. Renatus Widmann, Duisburg-Essen

Tag der Disputation 21.04.2015

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts „Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM) in Zentralasien: Modellregion Mongolei Phase 2“.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jörg Londong, Leiter der Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar, für die Betreuung meiner Arbeit, die wertvollen inhaltlichen Anregungen sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kraft, Leiter der Professur Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar, danke ich sehr für die Übernahme des Korreferats und für die Möglichkeit, im Technikum der Professur Gasbildungstests durchführen zu dürfen.

Für das Interesse an der Thematik und die Bereitschaft das Korreferat zu übernehmen danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Renatus Widmann, Leiter des Lehrstuhls Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft der Universität Duisburg-Essen, sehr herzlich.

Zu großem Dank bin ich den Eheleuten Gudrun und Hanno Fiedler für ihre finanzielle Unterstützung im Rahmen des Stipendiums des Fördervereins der Bauhaus-Universität Weimar verpflichtet, die mir bei der Fertigstellung dieser Arbeit sehr hilfreich war.

Meinen Kollegen an der Professur Siedlungswasserwirtschaft bzw. der Professur Biotechnologie in der Ressourcenwirtschaft danke ich sehr für die vielen inhaltlichen Gespräche und Anregungen sowie die Unterstützung bei organisatorischen Belangen. Besonderer Dank gilt diesbezüglich Dr.-Ing. Ralf Englert, Grit Rost, Jürgen Stäudel, Matthias Hartmann, Tobias Wätzel und Thomas Haupt. Für die Hilfe bei den chemischen Analysen bedanke ich mich zudem bei Johanna Scharf, für die wertvolle handwerkliche Arbeit rund um die Versuchsanlage bei Winfried Großmann.

Ein wesentlicher Teil dieser Dissertation ist im Rahmen der Projektarbeit in der Mongolei entstanden. Dies wäre ohne die Unterstützung vor Ort durch Tschimegsaikhan Altangerel, Gerel Osor, Nyamtuya Batsaikhan, Davaajav Bayartogtokh, Ganbaatar Khurelbaatar und Davaadorj Myagmarjav nicht möglich gewesen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **V**

Tabellenverzeichnis ..... **IX**

Abkürzungsverzeichnis ..... **XI**

Verzeichnis der verwendeten Symbole ..... **XIII**

1 Einleitung **1**

1.1 Problemstellung **1**

1.2 Zielstellung und Herangehensweise **2**

2 Theoretische Grundlagen **5**

2.1 Begriff Fäzes **5**

2.2 Extremes Klima **5**

2.3 Siedlungsstruktur, Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung in der Mongolei **7**

2.3.1 Siedlungsstruktur 7

2.3.2 Status quo der Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung 11

2.3.3 Integriertes Sanitärsystem 15

2.4 Trockentrenntoiletten **17**

2.5 Fäzes **23**

2.5.1 Beschaffenheit von Fäzes 23

2.5.2 Einfluss auf die Fäzesmenge 23

2.5.3 Fäzes-Kennzahlen 27

2.6 Fäzes als Co-Substrat **31**

2.7 Einfluss der Kälte auf die Faulung **34**

2.7.1 Einfrieren und Auftauen der Substrate 34

2.7.2 Wärmebilanz der Faulung 39

2.7.3 Diskontinuierliche Faulung 43

2.8 Schlussfolgerungen **47**

2.9 Forschungsbedarf **48**

3 Material und Methoden 51
3.1 Übersicht 51
3.2 Fäzes aus Trockentrenntoiletten (VR 1) 51
3.2.1 Trockentrenntoiletten 51
3.2.2 Chemische und physikalische Analyse der Fäzes 53
3.3 Fäzes als Co-Substrat bei einer Faulung (VR 2) 53
3.3.1 Versuchsanlage 53
3.3.2 Eingesetzte Substrate 57
3.3.3 Eingesetzte Analytik 57
3.4 Einfrieren und Auftauen von Fäzes (VR 3) 59
3.4.1 Eingesetzte Substrate 59
3.4.2 Einfrieren und Auftauen von Fäzesproben 59
3.4.3 Chemische und physikalische Beschaffenheit 59
3.4.4 Gasbildungspotenzial 61
3.5 Diskontinuierliche Faulung (VR 4) 63
4 Ergebnisse und Diskussion 65
4.1 Fäzes aus Trockentrenntoiletten (VR 1) 65
4.1.1 Fäzesmengen 65
4.1.2 Beschaffenheit der Fäzes 70
4.1.3 Fazit 75
4.2 Fäzes als Co-Substrat bei einer Faulung (VR 2) 76
4.2.1 Aufbereitung von Fäzes 76
4.2.2 Faulung von Klärschlamm und Fäzes 77
4.2.3 Kennzahlen Fäzes 84
4.2.4 Fazit 87
4.3 Einfrieren und Auftauen von Fäzes (VR 3) 88
4.3.1 Einfluss auf die Beschaffenheit von Fäzes 88
4.3.2 Einfluss auf das Gasbildungspotenzial 91
4.3.3 Fazit 94
4.4 Diskontinuierliche Faulung (VR 4) 94

4.5 Wärmebilanz der Faulung 99

4.5.1 Wärmebilanz des Auftauens der Fäzes 99

4.5.2 Wärmebilanz der gemeinsamen Faulung von Klärschlamm und Fäzes 106

5 Verfahrensschema 113

6 Ausblick.....117

7 Zusammenfassung.....121

8 Literatur.....125

9 Internetquellen.....137

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Typische Apartmenthäuser der Stadt Darkhan; Jurtensiedlung in Darkhan (Fotos: Jürgen Stäudel) 1

Abb. 2: Klimadiagramm der Stadt Ulan Bator (Quelle: URL 1) 6

Abb. 3: Bevölkerungsentwicklung in der Mongolei (nach GARDEMANN & STADELBAUER 2012) 9

Abb. 4: Blick auf eine mongolische Stadt 10

Abb. 5: Außenansicht einer Latrine auf dem Grundstück in einer Jurtensiedlung; Innenansicht einer Latrine (Fotos: Jürgen Stäudel) 14

Abb. 6: Integriertes Sanitärsystem für die mongolische Stadt Darkhan (LONDONG & HARTMANN 2011) 16

Abb. 7: Sicht von oben auf den Toilettensitz einer Trocken-trenntoilette; seitlicher Schnitt durch den Sitz einer Trockentrenntoilette (Quelle: URL 3, verändert) 18

Abb. 8: Beziehung zwischen verzehrter Speise und der Fäzesmenge bzw. dem Wassergehalt der Fäzes (nach PIEPER 1987) 24

Abb. 9: Unterschied der Fäzesmenge zwischen ländlichen und städtischen Einwohnern in Malaysia unter Berücksichtigung der Abstammung der Bevölkerung (aus FEACHEM ET AL. 1983) 25

Abb. 10: Tägliche Nahrungsaufnahme in der Mongolei und Japan (KOMATSU ET AL. 2006) 26

Abb. 11: Jährliche Kosten und Einsparungen durch Einsatz einer Rührwerkskugelmühle auf der KA Schermbeck (WINTER 2003) 36

Abb. 12: Wärmebedarf einer Kläranlage mit 70 000 EW (LEVY 2009) 43

Abb. 13: Varianten der diskontinuierlichen Faulung von KS und Fäzes 44

Abb. 14: Trockentrenntoilette, Typ iPiT, in einer Jurtensiedlung in Darkhan, Mongolei; Durchführung der Wägung eines Fäzes-fasses (Fotos: Jürgen Stäudel) 52

Abb. 15: Außenansicht der halbtechnischen Versuchsanlage 54

Abb. 16: Faulbehälter der halbtechnischen Versuchsanlage 55

Abb. 17: Schema der halbtechnischen Versuchsanlage zur gemeinsamen Faulung von Klärschlamm (KS) und Fäzes 56

Abb. 18: Versuchsaufbau der Gärtests 61

Abb. 19: Relative Häufigkeiten der einwohnerspezifischen Fäzesmenge infolge der Benutzung von Trockentrenntoiletten in der Mongolei (n= 368) 65

Abb. 20: Vergleich der einwohnerspezifischen Fäzesmengen 66

Abb. 21: Jahresverlauf der wöchentlich anfallenden Fäzesmengen aller zwölf mongolischen Trockentrenntoiletten 67

Abb. 22: Summenhäufigkeit der wöchentlichen Fäzesmengen, die insgesamt im Rahmen der Benutzung der zwölf Trockentrenntoiletten in der Mongolei anfallen 68

Abb. 23: Summenhäufigkeit des gleitenden sechs-Wochen-Mittels der wöchentlichen Fäzesmengen 69

Abb. 24: Vergleich des Trockenrückstands (TR) von Fäzes unterschiedlichen Ursprungs 72

Abb. 25: Vergleich der einwohnerspezifischen Fäzesfrachten 73

Abb. 26: Ammoniakhemmung im Rahmen einer Faulung (KROIß 1986) 79

Abb. 27: Vergleich der zufuhrspezifischen Faulgasausbeuten verschiedener Substrate 86

Abb. 28: CSB-Freisetzung durch Desintegration verschiedener Substrate 90

Abb. 29: Faulgasbildungsrate bei Batch-Versuchen zur Ermittlung des Gasbildungspotenzials von frischen und aufgetauten Fäzes 92

Abb. 30: Summenlinie der zufuhrspezifischen Faulgasausbeute frischer bzw. aufgetauter Fäzes 93

Abb. 31: Verlauf der Konzentration an organischen Säuren beim Wiederanfahren der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm und Fäzes 95

Abb. 32: Verlauf des pH-Werts und der Säurekapazität beim Wiederanfahren der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm und Fäzes 96

Abb. 33: Faulgaserzeugung beim Wiederanfahren der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm und Fäzes 97

Abb. 34: Faulgaszusammensetzung beim Wiederanfahren der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm und Fäzes 98

Abb. 35: Wärmebilanz der Variante 1 im Winter 109

Abb. 36: Wärmebilanz der Variante 3 im Winter 109

Abb. 37: Wärmebilanz der Variante 1 im Sommer 111

Abb. 38: Wärmebilanz der Variante 3 im Sommer 111

Abb. 39: Verfahrensschema der gemeinsamen Faulung von Klärschlamm und Fäzes. 114

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Kommunale Kläranlagen in der Mongolei (DOLGORSUREN ET AL. 2012) 12

Tab. 2: Unterschied der Fäzesgewichte zwischen Kind und Erwachsenem unter Berücksichtigung der Ernährung (aus LENTNER 1981) 27

Tab. 3: Einwohnerspezifische Frachten für Fäzes 28

Tab. 4: Einfluss der Desintegration auf die Rückbelastung nach einer anaeroben Stabilisierung (ATV-DVWK 2001) 35

Tab. 5: Auswirkungen des Einfrierens und Auftauens auf gemischten Klärschlamm (MONTUSIEWICZ ET AL. 2010) 37

Tab. 6: Übersicht der durchgeführten Versuchsreihen (VR) 51

Tab. 7: Analysen im Rahmen der halbtechnischen Versuche zur Faulung von Klärschlamm und Fäzes 58

Tab. 8: Methoden zur Analyse der frischen und aufgetauten Fäzes 60

Tab. 9: Zusammensetzung der Gärtestansätze 62

Tab. 10: Chemische bzw. physikalische Analyse der Fäzes aus Trockentrenntoiletten 71

Tab. 11: Parameter der Mischung von Fäzes und Primärschlamm (PS) 77

Tab. 12: Messwerte des Zu- und Ablaufs der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm (PS) und Fäzes sowie der Primärschlamm-Monofaulung 78

Tab. 13: CSB-Bilanzen der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm (PS) und Fäzes sowie der Primärschlamm-Monofaulung 81

Tab. 14: Faulgasausbeuten der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm (PS) und Fäzes sowie der Primärschlamm-Monofaulung im Vergleich zu Angaben der DWA (2009c) bzgl. Primärschlamm 82

Tab. 15: Konzentration der organischen Säuren und oTR-Abbaugrad (η_{oTR}) der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm (PS) und Fäzes sowie der Primärschlamm-Monofaulung 82

Tab. 16: Charakteristik des Schlammwassers der gemeinsamen Faulung von Primärschlamm (PS) und Fäzes sowie der Primärschlamm-Monofaulung 84

Tab. 17: Einwohnerspezifische Frachten im Schlammwasser, die bei der Faulung durch Fäzes anfallen 87

Tab. 18: Einfluss des Einfrierens und Auftauens auf die chemische bzw. physikalische Beschaffenheit von Fäzes 88

Tab. 19: Getroffene Annahmen zur Berechnung des Wärmebedarfs für das Aufheizen der Fäzes 100

Tab. 20: Getroffene Annahmen zur Berechnung der Wärmeverluste des Faulbehälters 101

Tab. 21: Getroffene Annahmen zur Berechnung des Wärmebedarfs für das Heizen der Aufbereitungshalle 102

Tab. 22: Volumen und Außenfläche von Gebäuden zur Schlammentwässerung (HOFFMANN 1979, RIEGLER 1981) 103

Tab. 23: Getroffene Annahmen zur Berechnung der Wärmeproduktion aus Faulgas 104

Tab. 24: Getroffene Annahmen zur Berechnung der Wärmerückgewinnung aus Faulschlamm 105

Tab. 25: Wärmebilanz bzgl. der Faulung von Fäzes 106

Tab. 26: Zusätzlich verwendete Parameter zur Erstellung der Wärmebilanzen der gemeinsamen Faulung von Klärschlamm und Fäzes (KS= Klärschlamm) 108

Abkürzungsverzeichnis

ATV	Abwassertechnische Vereinigung
arith. Mittel	arithmetisches Mittel
BHKW	Blockheizkraftwerk
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor; kontinuierlicher, idealer Rührkessel
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
E	Einwohner
EnEV	Energieeinsparverordnung
engl.	englisch
EPS	extrazelluläre polymere Substanzen
EW	Einwohnerwert
EZ	Einwohnerzahl
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
geogr. Breite	geographische Breite
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GV	Glühverlust
$HAc_{äq}$	Essigsäure-Äquivalent
iPiT	integrated Personal innovative Toilet
IWRM	Integriertes Wasserressourcen-Management

k. A.	keine Angabe
KS	Klärschlamm
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
MoMo	Modellregion Mongolei
MURL	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
n. a.	nicht analysiert
NSOM	National Statistical Office of Mongolia
org. Säuren	organische Säuren
oTR	organischer Trockenrückstand
oTS	organische Trockensubstanz
PS	Primärschlamm
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Stabw.	Standardabweichung
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen; Kjeldahl-Stickstoff
TR	Trockenrückstand
UNDP	United Nations Development Programme
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VR	Versuchsreihe
WHO	World Health Organization
WWTP	Wastewater Treatment Plant; Kläranlage

Verzeichnis der verwendeten Symbole

Symbol	Einheit	Beschreibung
A	m^2	Außenfläche
A_{AH}	m^2/E	einwohnerspezifische Außenfläche der Aufbereitungshalle
A_{BG}	m^2	Außenfläche des Betriebsgebäudes
A_{FB}	m^2	Außenfläche des Faulbehälters
$B_{d,CSB}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische CSB-Fracht
$B_{d,CSB,Ab}$	g/d	tägliche CSB-Fracht des Ablaufs
$B_{d,CSB,Faulgas}$	g/d	tägliche CSB-Fracht des Faulgases
$B_{d,CSB,Zu}$	g/d	tägliche CSB-Fracht des Zulaufs
$B_{d,Nges}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische Fracht des Gesamtstickstoffs
$B_{d,NH4-N}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische Fracht des Ammoniumstickstoffs
$B_{d,oTR}$	g/d bzw. g/(E*d)	tägliche oTR-Fracht
$B_{d,oTR,Fäzes}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische oTR-Fracht der Fäzes
$B_{d,oTR,KS}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische oTR-Fracht des Klärschlamms
$B_{d,Pges}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische Fracht des Gesamtphosphors
$B_{d,TR}$	g/(E*d)	einwohnerspezifische TR-Fracht
BSB	mg/L	Biochemischer Sauerstoffbedarf
$c_{Fäzes,flüssig}$	$kWh/(m^3*K)$	spezifische Wärmekapazität der Fäzes im flüssigen Zustand
$c_{Fäzes,gefr.}$	$kWh/(m^3*K)$	spezifische Wärmekapazität der Fäzes im gefrorenen Zustand

Symbol	Einheit	Beschreibung
c_{FS}	kWh/(m^3*K)	spezifische Wärmekapazität des Faulschlamms
c_{KS}	kWh/(m^3*K)	spezifische Wärmekapazität des Klärschlamms
c_S	kWh/(m^3*K)	spezifische Wärmekapazität eines Substrats
$C_{oTR,Ab}$	g/L	Konzentration des organischen Trockenrückstands im Ablauf
$C_{oTR,Fäzes}$	g/L	Konzentration des organischen Trockenrückstands der Fäzes
$C_{oTR,KS,eingedickt}$	g/L	Konzentration des organischen Trockenrückstands im eingedickten Klärschlamm
$C_{oTR,Zu}$	g/L	Konzentration des organischen Trockenrückstands im Zulauf
$C_{TR,Fäzes}$	g/L	Konzentration des Trockenrückstand der Fäzes
$C_{TR,KS,eingedickt}$	g/L	Konzentration des Trockenrückstands im eingedickten Klärschlamm
CSB	mg/L	Chemischer Sauerstoffbedarf
$CSB_{filtriert}$	mg/L	Chemischer Sauerstoffbedarf einer zuvor filtrierten Probe
ΔT	K	Temperaturdifferenz
E	-	Einwohner
f_{Ab}	-	CSB/oTR-Verhältnis im Ablauf
f_{Zu}	-	CSB/oTR-Verhältnis im Zulauf
$G_{Fäzes}$	L_N/kg oTR_{zu}	zufuhrspezifische Faulgasausbeute von Fäzes
G_{KS}	L_N/kg oTR_{zu}	zufuhrspezifische Faulgasausbeute von Klärschlamm
GV	%	Glühverlust
$\eta_{BHKW,elektrisch}$	%	elektrischer Wirkungsgrad des BHKW
$\eta_{BHKW,thermisch}$	%	thermischer Wirkungsgrad des BHKW

Symbol	Einheit	Beschreibung
$h_{fus,Fäzes}$	kJ/kg bzw. kWh/m³	spezifische Schmelzenthalpie der Fäzes
η_{oTR}	%	oTR-Abbaugrad
H'_T	W/(m²*K)	Transmissionswärmetransferkoeffizient
H_u	kWh/Nm³	Heizwert des Faulgases
$H_{u,Fäzes}$	kWh/Nm³	Heizwert des Faulgases aus Fäzes
$H_{u,KS}$	kWh/Nm³	Heizwert des Faulgases aus Klärschlamm
K	-	Kontinentalitätsgrad
$K_{S4,3}$	mmol/L	Säurekapazität
L_N	L	Normliter, Liter bei Normbedingungen
N_{ges}	mg/L	Gesamtstickstoff
Nm³	m³	Normkubikmeter, Kubikmeter bei Normbedingungen
NH_4-N	mg/L	Ammoniumstickstoff
oTR	% bzw. g/L	organischer Trockenrückstand
P_{ges}	mg/L	Gesamtphosphor
PO_4-P	mg/L	Phosphatphosphor
Q	L/d	Volumenstrom
Q_{Ab}	L/d	Abfluss vom Faulbehälter
Q_{CH4}	L/d	Volumenstrom des produzierten Methans
Q_d	L/d	täglicher Volumenstrom
Q_F	L/(E*d)	täglich anfallende, einwohnerspezifische Fäzesmenge
Q_{FG}	m³/d bzw. L_N/(E*d)	Volumenstrom des produzierten Faulgases
Q_{FS}	m³/d	Volumenstrom des Faulschlamms
Q_S	m³/d	Volumenstrom eines Substrats
Q_{Zu}	L/d	Zufluss zum Faulbehälter

Symbol	Einheit	Beschreibung
T	°C bzw. K	Temperatur
T_{AH}	K	Temperatur der Aufbereitungshalle
T_{BG}	K	Temperatur des Betriebsgebäudes
t_{FB}	d	Faulzeit
T_{FB}	K	Temperatur des Faulbehälters
T_{RH}	K	Temperatur des Rechenhauses
$T_{Rück}$	K	Temperatur des Rücklaufs eines Wärmetauschers
$T_{Sommer,Fäzes}$	K	Temperatur der Fäzes im Sommer
$T_{Sommer,KS}$	K	Temperatur des Klärschlamms im Sommer
$T_{Sommer,Luft}$	K	Temperatur der Luft im Sommer
T_{Vor}	K	Temperatur des Vorlaufs eines Wärmetauschers
$T_{Winter,Fäzes}$	K	Temperatur der Fäzes im Winter
$T_{Winter,KS}$	K	Temperatur des Klärschlamms im Winter
$T_{Winter,Luft}$	K	Temperatur der Luft im Winter
TKN	mg/L	Total Kjeldahl Nitrogen
TR	% bzw. g/L	Trockenrückstand
U	$W/(m^2*K)$	Wärmedurchgangskoeffizient
U_{FB}	$W/(m^2*K)$	Wärmedurchgangskoeffizient der Faulbehälterwand
V	m^3 bzw. L	Volumen
V_{FB}	m^3 bzw. L	Volumen des Faulbehälters
$V_{FB,Fäzes}$	L/E	einwohnerspezifisches Faulbehältervolumen bzgl. Fäzes
V_{GS}	L/E	einwohnerspezifisches Volumen des Gasspeichers
W_A	kWh/d bzw. Wh/(E*d)	Wärmebedarf für das Aufheizen von Substraten

Symbol	**Einheit**	**Beschreibung**
W_{AH}	Wh/(E*d)	Wärmebedarf zum Heizen der Aufbereitungshalle
W_{BG}	kWh/d bzw. Wh/(E*d)	Wärmebedarf zum Heizen der Betriebsgebäude
W_{FB}	kWh/d bzw. Wh/(E*d)	Wärmeabstrahlung des Faulbehälters
W_{FG}	kWh/d bzw. Wh/(E*d)	produzierte Wärme aus Faulgas
$W_{FG,BHKW}$	Wh/(E*d)	produzierte Wärme aus Faulgas unter Verwendung eines BHKW
$W_{FG,Heizkessel}$	Wh/(E*d)	produzierte Wärme aus Faulgas unter Verwendung eines Heizkessels
W_{FS}	kWh/d bzw. Wh/(E*d)	Wärmerückgewinnung aus Faulschlamm