

## Anhang 1 (Verzeichnisse und Sekundärinformationen)

### 10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Regionale Verteilung der Standorte von Biogas-VOV-Anlagen im Betriebsjahr 2015.....	8
Abbildung 3-2:	Schematische Darstellung der Bilanzgrenze für die Bewertung des Gärprozesses .....	17
Abbildung 3-3:	Schema der Bewertungskriterien/Kennzahlen, welche für die individuelle Schwachstellenanalyse und Ursachenforschung sowie vergleichende Bewertung der Biogasanlagen im Messprogramm verwendet wurden .....	23
Abbildung 3-4:	Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen für die Bewertungskriterien a) Relative Biogasausbeute, b) Methanproduktivität, c) Leistungsausnutzung, d) Methan-Nutzungsgrad und eines Beispielsets („Input“) von Fuzzy-Kennwerten (skalare Kennwerte: Relative Biogasausbeute = 113; korrigierte Methanproduktivität = 0,90; Leistungsausnutzung = 91; Methan-Nutzungsgrad = 56) .....	24
Abbildung 3-5:	Schema für ein systematisches Vorgehen bei der Auswahl und Evaluierung von Repowering-Maßnahmen an Biogasanlagen .....	28
Abbildung 4-1:	Masse- und energiebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen in Deutschland (ohne Biogasaufbereitungsanlagen) (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	35
Abbildung 4-2:	Masse- und energiebezogener Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen in Deutschland (ohne Biogasaufbereitungsanlagen) (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	36
Abbildung 4-3:	Masse- und energiebezogener Substrateinsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen in Deutschland (ohne Biogasaufbereitungsanlagen) (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	36
Abbildung 4-4:	Prozentuale Verteilung der genutzten Fermentersysteme (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	37
Abbildung 4-5:	Verteilung eingesetzter Rührsysteme, absolute Anzahl der Nennungen und relative Häufigkeit in % (Mehrfachnennungen möglich), (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	38
Abbildung 4-6:	Art der installierten Gasspeicher an Biogasanlagen (Befragung 2016, Bezugsjahr 2015).....	38
Abbildung 4-7:	Gasspeichervolumina, differenziert nach Leistungsklassen (Mehrfachnennungen möglich), (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	39
Abbildung 4-8:	Anzahl installierter BHKW je Biogaserzeugungsanlage, relative Häufigkeit in % (Befragung 2016, Bezugsjahr 2015).....	40
Abbildung 4-9:	Art der Gärrestaufbereitung (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	40
Abbildung 4-10:	Installierte Messtechnik zur Erfassung zu- und abgeführter Stoffströme an den Biogasanlagen (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	41
Abbildung 4-11:	Messtechnische Ausstattung der Biogasanlagen, differenziert nach Leistungsklassen (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	42
Abbildung 4-12:	Kombinationsmöglichkeiten der Messgeräte zur Erfassung zu- und abgeführter Stoffströme an den Biogasanlagen (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	42
Abbildung 4-13:	Installierte Biogasmesstechnik (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	43

Abbildung 4-14:	Art der installierten Stromzähler zur Erfassung des Eigenstromverbrauchs an den Biogasanlagen (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	43
Abbildung 4-15:	Umsetzung von Maßnahmen zur Anlagenerweiterung bzw. zum Repowering in den Betriebsjahren 2011 - 2015, relative Häufigkeit (Mehrfachnennungen möglich), (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	44
Abbildung 4-16:	Art der Prozessführung (Nass- bzw. Trockenfermentation) der Biogasanlagen, differenziert nach kontinuierlich bzw. diskontinuierlich betriebenen Anlagen (relative Häufigkeit), (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015).....	45
Abbildung 4-17:	Mittlere Betriebsstunden grundlastfahrender vs. flexibel betriebener Biogasanlagen im Jahr 2015 in Abhängigkeit von der installierten elektrischen BHKW-Nennleistung, (Betreiberbefragung 2016).....	45
Abbildung 4-18:	Anteil extern genutzter Wärme (nach Abzug des Eigenwärmebedarfs), differenziert nach Anzahl der Nennungen (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015).....	46
Abbildung 4-19:	Art der Wärmenutzung, absolute Anzahl der Nennungen und relative Häufigkeit in % (Mehrfachnennungen möglich), (Betreiberbefragung 2016, Bezugsjahr 2015) .....	47
Abbildung 5-1:	Luftaufnahme der BGA 06 .....	61
Abbildung 5-2:	Anlagenschema der BGA 06.....	62
Abbildung 5-3:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 06 .....	64
Abbildung 5-4:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in den Fermentern der BGA 06.....	65
Abbildung 5-5:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 06 .....	65
Abbildung 5-6:	Anlagenansicht der Biogasanlage 11 .....	68
Abbildung 5-7:	Anlagenschema BGA 11 .....	69
Abbildung 5-8:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 11 .....	70
Abbildung 5-9:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 11 .....	71
Abbildung 5-10:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 11 .....	71
Abbildung 5-11:	Anlagenansicht der Biogasanlage 16.....	74
Abbildung 5-12:	Anlagenschema BGA 16 .....	75
Abbildung 5-13:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 16.....	77
Abbildung 5-14:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 16 (August 2017: keine Daten vorhanden).....	77
Abbildung 5-15:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 16 .....	78
Abbildung 5-16:	Container-Trocknung von Gewürzen .....	81
Abbildung 5-17:	Anlagenschema BGA 22 .....	82
Abbildung 5-18:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	84
Abbildung 5-19:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	84
Abbildung 5-20:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	85
Abbildung 5-21:	Ansicht der BGA 28 mit Biomasseheizkraftwerk (links im Hintergrund) .....	88
Abbildung 5-22:	Anlagenschema der BGA 28.....	89
Abbildung 5-23:	Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung.....	91
Abbildung 5-24:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	91
Abbildung 5-25:	Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	92
Abbildung 5-26:	Anlagenschema der BGA 35.....	95
Abbildung 5-27:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 35 .....	97

Abbildung 5-28:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 35 .....	98
Abbildung 5-29:	Anlagenschema der BGA 37 .....	102
Abbildung 5-30:	Lagerung einer Zuckerrüben-Getreideschrot-Mischung an der BGA 37. Fehlendes Strukturmaterial führte zum Auseinanderrutschen des Haufens.....	104
Abbildung 5-31:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 37 .....	104
Abbildung 5-32:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in den Fermentern der BGA 37.....	105
Abbildung 5-33:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 37 .....	105
Abbildung 5-34:	Feststoffdosierer, Fermenter 1 und neu errichteter Nachgärbehälter der BGA 43 .....	108
Abbildung 5-35:	Anlagenschema BGA 43 .....	109
Abbildung 5-36:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 43 .....	111
Abbildung 5-37:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenter 1 der BGA 43 (August 2018: keine Daten vorhanden - Revision Fermenter 1).....	111
Abbildung 5-38:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 43 .....	112
Abbildung 5-39:	Pumpenraum der BGA 52.....	115
Abbildung 5-40:	Anlagenschema BGA 52 .....	116
Abbildung 5-41:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	117
Abbildung 5-42:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter (unten) .....	118
Abbildung 5-43:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	118
Abbildung 5-44:	Ansicht der BGA 57 mit Feststoffeintrag und Fermenter mit Rührgeräten (im Vordergrund) und Nachgärer mit Gasspeicherhaube (rechts im Hintergrund) .....	121
Abbildung 5-45:	Fließschema der Biogasanlage 57 .....	122
Abbildung 5-46:	Zeitlicher Verlauf der der zugeführten Substratmenge und deren Zusammensetzung.....	124
Abbildung 5-47:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	124
Abbildung 5-48:	Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	125
Abbildung 6-1:	Relative Häufigkeitsverteilung der Anzahlen der Prozessstufen der untersuchten Anlagen (links; BMP III, n = 61; Betreiberbefragung, n = 286) sowie des Reaktorsystems (rechts; BMP III, n = 61; Betreiberbefragung, n = 310) jeweils differenziert für zwei Stichproben.....	129
Abbildung 6-2:	Relative Häufigkeitsverteilung der mittleren Gärtemperaturen der Biogasanlagen differenziert für zwei Stichproben (BMP III, n = 60; Betreiberbefragung, n = 346) .....	129
Abbildung 6-3:	Relative Häufigkeitsverteilung der installierten elektrischen Leistung (Nennleistung) und der Höchstbemessungsleistung der bewerteten Biogasanlagen (n = 58) .....	130
Abbildung 6-4:	Relative Häufigkeitsverteilung der Gasspeichertypen auf den bewerteten Biogasanlagen im BMP III (n = 143).....	131
Abbildung 6-5:	Relative Häufigkeitsverteilung der Biogasanlagen im BMP III in Bezug auf die Gasentschwefelung (n = 60) .....	131
Abbildung 6-6:	Relative Häufigkeitsverteilung der Biogasanlagen in Bezug auf das spezifische Gasspeichervolumen (n = 61).....	132
Abbildung 6-7:	Relative Häufigkeitsverteilung in Bezug auf die Wärmenutzung der bewerteten Biogasanlagen (BMP III, n = 53; Betreiberbefragung, n = 324).....	133
Abbildung 6-8:	Relative Häufigkeitsverteilung der Auslastung der anlagenspezifischen elektrischen BHKW-Kapazität (n = 60).....	134
Abbildung 6-9:	Mittlere elektrische Wirkungsgrade der BHKW laut Herstellerangabe (n = 111) .....	135
Abbildung 6-10:	Spezifische Stromproduktion pro Tonne FM, TS, oTS und FoTS und Anteil des Wirtschaftsdüngers in der Substratmischung .....	136

Abbildung 6-11:	Zusammenhang zwischen spezifischer Stromproduktion pro $t_{\text{FoTS}}$ und der Verweilzeit im gasdichten System .....	137
Abbildung 6-12:	Relative Häufigkeitsverteilung der Auslastung der theoretischen Brutto-Wärmeleistung durch Fremdnutzer (n = 56) .....	138
Abbildung 6-13:	Zusammenhang zwischen dem Anteil des Eigenwärmebedarfs an der Wärmeproduktion und dem Gülleanteil (ohne Festmist) an der Substratmischung (n = 33).....	139
Abbildung 6-14:	Theoretische Auslastung der installierten Wärmeleistung durch den Eigenwärmebedarf der BGA, Fremdwärme (Nutzung außerhalb der BGA) und Fortwärme (Verluste) unter Betrachtung des Gülleanteils an der Substratmischung .....	140
Abbildung 6-15:	Anteiliger Eigenstrombedarf der Biogasanlagen.....	141
Abbildung 6-16:	Zusammenhang zwischen dem anteiligen Eigenstrombedarf und dem Gülleanteil in der Substratmischung (n = 51).....	141
Abbildung 6-17:	Relative Häufigkeitsverteilung des Eigenstrombedarfs (n = 51) .....	142
Abbildung 6-18:	Mittlere Substratverteilung in Prozent der eingetragenen Frischmasse (oben) und der eingetragenen $\text{FoTS}$ (unten) anhand des jährlichen Substrateinsatzes, differenziert nach Wirtschaftsdüngern, NawaRo und sonstigen Substraten (wie z. B. Kartoffelschalen, Enzyme, Eisenpräparate) .....	144
Abbildung 6-19:	Relative Häufigkeitsverteilung der eingesetzten Substratmengen pro Jahr und der Anteil der Wirtschaftsdünger an der Substratmischung für die betrachteten Biogasanlagen im BMP III (n = 61) .....	145
Abbildung 6-20:	Relative Einsatzhäufigkeiten der verwerteten Substrate in den bewerteten Biogasanlagen (n = 60), differenziert nach NawaRo und Wirtschaftsdünger .....	145
Abbildung 6-21:	Relative Häufigkeitsverteilung des Anteils von Mais-Ganzpflanzensilage, Grassilage, Rindergülle und Rindermist an der Substratmischung der untersuchten Biogasanlagen.....	146
Abbildung 6-22:	Relative Häufigkeitsverteilung des TS-Gehaltes der Substratmischung, des Fermenterinhaltendes und des Gärrestes (n = 61).....	149
Abbildung 6-23:	TS- und oTS-Gehalt der Substratmischung und des Ablaufs der letzten gasdichten Stufe, $\text{FoTS}$ -Gehalt der Substratmischung, sortiert nach aufsteigendem Substrat TS-Gehalt.....	151
Abbildung 6-24:	Brennwert der Substratmischung und des Gärrestes, sortiert nach Brennwert der Substratmischung .....	152
Abbildung 6-25:	$\text{NH}_4^- / \text{N}_{\text{Ges}}\text{-N}$ -Verhältnis im Fermenter (n = 61) und im Ablauf der letzten gasdichten Stufe (n = 41).....	153
Abbildung 6-26:	Relative Häufigkeitsverteilung des $\text{NH}_4^-$ -Gehaltes im Fermenter (n = 61) und im Gärrest (n = 41) .....	153
Abbildung 6-27:	Änderung des Ammonium-Anteils am Gesamtstickstoff der Substratmischung über die Gärstrecke (n = 38) .....	154
Abbildung 6-28:	Mittlere oTS-Raumbelastung der ersten Stufe und der Gärstrecke, unter Nennung der Stufenanzahl (Zahlen überhalb des Diagramms).....	154
Abbildung 6-29:	Mittlere hydraulische Verweilzeit im beheizten Fermentersystem, differenziert nach einstufigen und mehrstufigen Anlagen .....	155
Abbildung 6-30:	Relative Häufigkeitsverteilung der Verweilzeit im Fermentersystem, differenziert für ein- bzw. mehrstufige Anlagen (n = 61) .....	156
Abbildung 6-31:	Relative Häufigkeitsverteilung der Verweilzeit des Substrats im gasdicht abgeschlossenen System, differenziert für ein- bzw. mehrstufige Anlagen (n = 61) .....	156
Abbildung 6-32:	Mittlerer $\text{CH}_4$ - und $\text{CO}_2$ -Gehalt im gereinigten Biogas .....	157
Abbildung 6-33:	Mittlere $\text{H}_2\text{S}$ - und $\text{O}_2$ -Gehalte im produzierten Biogas (vor Aktivkohlefilter) .....	158
Abbildung 6-34:	Mittlere Biogas- und Methanausbeute pro Tonne zugeführtem Frischmaterial, TS, oTS und $\text{FoTS}$ rechnerisch ermittelt aus den gesammelten Daten der Praxismessungen. ....	160
Abbildung 6-35:	Mittlere Biogas- bzw. Methanproduktivität pro Kubikmeter Arbeitsvolumen, differenziert nach einstufigen und mehrstufigen Anlagen.....	161

Abbildung 6-36:	Relative Häufigkeitsverteilung der CH <sub>4</sub> -Produktivität (n = 61) .....	161
Abbildung 6-37:	Zusammenhang zwischen organischer Raumbelastung des Gesamtsystems und der CH <sub>4</sub> -Produktivität (n = 61).....	162
Abbildung 6-38:	Zusammenhang zwischen organischer Raumbelastung der ersten Stufe und der CH <sub>4</sub> -Produktivität (n = 61).....	162
Abbildung 6-39:	Biogas-/Methanpotential pro Tag: Bestimmt über Fütterungsmenge und ermitteltes Biogasertragspotential der Substrate mittels Biogasertragstest.....	163
Abbildung 6-40:	Biogas-/Methanpotential pro Tag und kg <sub>oTS</sub> : Bestimmt über Fütterungsmenge und ermitteltes Biogasertragspotential mittels Biogasertragstest.....	164
Abbildung 6-41:	spezifisches Methanpotential für die am häufigsten getesteten Substrate mit Angabe der Anzahl der Anlagen, die dieses Substrat verwenden .....	165
Abbildung 6-42:	Durch Substratzugabe zugeführte Menge an FoTS im Untersuchungszeitraum.....	165
Abbildung 6-43:	Fermentierbarer Anteil der zugeführten oTS in der Substratmischung .....	166
Abbildung 6-44:	FoTS-Gehalt für die am häufigsten getesteten Substrate und daraus berechnete Methanpotentiale mit Angabe der Anzahl der Messungen n .....	167
Abbildung 6-45:	Auf die Frischmasse bezogener Brennwert in den Substratmischungen und Gärresten der untersuchten Biogasanlagen.....	168
Abbildung 6-46:	oTS-spezifischer Brennwert in den Substratmischungen und Gärresten der untersuchten Biogasanlagen .....	168
Abbildung 6-47:	geschätzter Ligninanteil in den Gärresten der untersuchen Biogasanlagen .....	169
Abbildung 6-48:	Brennwert der am häufigsten eingesetzten Substrate mit Angabe der Anzahl der Analysen n.....	169
Abbildung 6-49:	Absolutes Restmethanpotential des Ablaufs der letzten Stufen (Gärrest) bei 37°C, 60 Tage Gärdauer .....	170
Abbildung 6-50:	oTS-Abbaugrad von 59 der 61 Anlagen .....	171
Abbildung 6-51:	FoTS-Ausbeute der Anlagen im BMP III .....	172
Abbildung 6-52:	Relatives Restmethanpotential bei 37°C von 45 der 61 Anlagen jeweils am letzten abgedeckten Behälter gezogen .....	174
Abbildung 6-53:	Relatives Restmethanpotential bei 37°C und nach 60 Tagen über Verweilzeit im gasdichten System aufgetragen .....	174
Abbildung 6-54:	Relative Methanausbeute von 45 Anlagen; Werte über 100 % bedeuten, dass in den Anlagen mehr Gas produziert wurde, als theoretisch aus dem Biogasertragstest zu erwarten war .....	175
Abbildung 6-55:	Anaerob energetischer Umsatz von 59 Biogasanlagen (*: reduzierter Bilanzzeitraum).....	176
Abbildung 6-56:	Anaerob energetische Ausbeute von 59 Biogasanlagen (*: reduzierter Bilanzzeitraum).....	177
Abbildung 6-57:	Zusammenhang zwischen anaerob energetischem Umsatzgrad und dem Wirtschaftsdüngeranteil.....	177
Abbildung 6-58:	Energieverlust im Gärprozess als Anteil der Substratenergie (*: reduzierter Bilanzzeitraum) .....	178
Abbildung 6-59:	Spezifische Methanpotentiale und Ausbeuten im Vergleich (* markiert reduzierten Bilanzzeitraum) .....	179
Abbildung 6-60:	FoTS-Ausbeute über relative Methanausbeute aufgetragen, gestrichelte Linie: lineare Regression .....	181
Abbildung 6-61:	Gesamtinvestitionssummen der Biogasanlagen; differenziert in die Bereiche Bau, Technik, BHKW und keine Afa .....	183
Abbildung 6-62:	Relative Aufteilung der Gesamtinvestitionssummen der Biogasanlagen; differenziert in die Bereiche Bau, Technik, BHKW und keine Afa .....	183
Abbildung 6-63:	Relative Häufigkeiten der Gesamtinvestitionssumme.....	184
Abbildung 6-64:	Spezifische Investitionssummen, bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der Biogasanlagen .....	184
Abbildung 6-65:	Relative Häufigkeitsverteilung der spezifischen Investitionssumme pro kW <sub>el</sub> anhand der gesetzlichen Höchstbemessungsleistung .....	185
Abbildung 6-66:	Zusammenhang zwischen gesetzlicher Höchstbemessungsleistung und spezifischen Investitionsbedarfen pro kW <sub>el</sub> .....	185

Abbildung 6-67:	Zusammenhang zwischen installierter elektrischer Leistung und den spezifischen BHKW-Kosten getrennt für einzelne Aggregate und differenziert nach Motorentypen .....	186
Abbildung 6-68:	Anteilige Zusammensetzung der Anlagenfinanzierung ausgewählter Biogasanlagen .....	187
Abbildung 6-69:	Jährliche Gesamteinnahmen der Biogasanlagen in absoluten Werten .....	189
Abbildung 6-70:	Relative Zusammensetzung der Einnahmenseite .....	189
Abbildung 6-71:	Strombezogene Einnahmen der Biogasanlagen (inkl. Umrechnungen von Rohbiogas und Biomethan) .....	190
Abbildung 6-72:	Jährliche Gesamtausgaben der Biogasanlagen in absoluten Werten .....	191
Abbildung 6-73:	Relative Zusammensetzung der jährlichen Gesamtausgaben, differenziert nach Substratkosten, Personalkosten, Instandhaltungskosten, Abschreibungen und Sonstige Betriebskosten .....	191
Abbildung 6-74:	Jährliche Abschreibungen der Biogasanlagen in absoluten Werten, differenziert nach Bauliche Anlage, Technik & Maschinen, BHKW und Sonstiges .....	192
Abbildung 6-75:	Relative Zusammensetzung der jährlichen Abschreibungen, differenziert nach Bauliche Anlage, Technik & Maschine, BHKW und Sonstiges .....	193
Abbildung 6-76:	Kostenspreizung zu ausgewählten Substraten, frischmassebezogen .....	193
Abbildung 6-77:	Jährliche Instandhaltungskosten der Biogasanlagen in absoluten Werten, differenziert nach Bauliche Anlage, Technik & Maschinen und BHKW .....	195
Abbildung 6-78:	Relative Zusammensetzung der jährlichen Instandhaltungskosten, differenziert nach Bauliche Anlage, Technik & Maschinen und BHKW .....	196
Abbildung 6-79:	Stromgestehungskosten der Biogasanlagen auf Basis der eingespeisten Strommenge (inkl. Umrechnungen von Rohbiogas und Biomethan) .....	197
Abbildung 6-80:	Stromgestehungskosten der Biogasanlagen, unterteilt in vier Anlagenklassen gemäß gesetzlicher Höchstbemessungsleistung und geordnet nach der Höhe der Stromgestehungskosten .....	198
Abbildung 6-81:	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis bzw. Gesamtgewinn / -verlust der Biogasanlagen .....	199
Abbildung 6-82:	Differenz zwischen strombezogenen Einnahmen und Stromgestehungskosten / jährliche Gesamtwirtschaftlichkeit pro eingespeiste Kilowattstunde .....	199
Abbildung 6-83:	Zusammenhang zwischen elektrischer Auslastung (hier: Quotient aus eingespeister Strommenge und gesetzlicher Höchstbemessungsleistung) der Biogasanlagen und den Stromgestehungskosten .....	200
Abbildung 6-84:	Zusammenhang zwischen der elektrischen Auslastung (hier: Quotient aus eingespeister Strommenge und gesetzlicher Höchstbemessungsleistung) der Biogasanlagen und dem spezifischen Gewinn bzw. Verlust bezogen auf die elektrische Auslastung .....	201
Abbildung 6-85:	Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis bzw. Gesamtgewinn / -verlust der Biogasanlagen, unterteilt in vier Anlagenklassen auf Basis der gesetzlichen Höchstbemessungsleistung .....	202
Abbildung 7-1:	Ranking von 48 Biogasanlagen im Messprogramm für die Kategorie „Biogasproduktion“; die Anlagen sind nach Effizienzwert von oben nach unten absteigend angeordnet, die Farbverläufe in der Zeichnungsfläche illustrieren die Effizienzklassen .....	208
Abbildung 7-2:	Verhältnis von oTS-Raubelastung und Methanproduktivität des gesamten Arbeitsvolumens des Fermentersystems, d. h. exklusive eventueller Gärrestlager mit Gaserfassung) für 48 Biogasanlagen; hervorgehoben sind von den Anlagen mit guter Bewertung der Biogasproduktion diejenigen mit ausreichender (Quadrate ohne Füllung) bzw. mit sehr guter (Dreiecke ohne Füllung) Bewertung der Methanproduktivität .....	209
Abbildung 7-3:	Ranking von 48 Biogasanlagen im Messprogramm für die Kategorie „Biogasverwertung“; die Anlagen sind nach Effizienzwert von oben nach unten absteigend angeordnet .....	210

Abbildung 7-4:	Histogramme des Methan-Nutzungsgrades für 48 Biogasanlagen im Messprogramm bzw. 24 Biogasanlagen im Biogas-Monitoring der LfL (Ebertseder et al., 2012; Streicher et al., 2016) .....	211
Abbildung 7-5:	Histogramm der Leistungsausnutzung (= Ausnutzung der elektrischen Höchstbemessungsleistung) für 48 Anlagen im Messprogramm .....	211
Abbildung 7-6:	Ranking von 48 Biogasanlagen im Messprogramm für die „zusammengefasste Anlageneffizienz“; die Anlagen sind nach Effizienzwert von oben nach unten absteigend angeordnet .....	212
Abbildung 7-7:	Gegenüberstellung der spezifischen elektrischen Bemessungsleistung je Kubikmeter Arbeitsvolumen und der Methanproduktivität für 48 Biogasanlagen im Messprogramm; die vier Anlagen mit ungenügender Bewertung der BHKW-Leistungsausnutzung sind hervorgehoben (nicht ausgefüllte Dreiecke).....	213
Abbildung 14-1:	Beispiel-Chromatogramm einer Mischstandardlösung aller Substanzen.....	267
Abbildung 14-2:	Beispiel-Chromatogramm aller verwendeten Mischstandardlösungen am RID .....	270
Abbildung 14-3:	Beispiel-Chromatogramm von 5 HMF und Furfural bei 280 nm.....	270
Abbildung 14-4:	Berechnung der produzierten Biogasmenge bei Gas-Otto-Motoren mit Volleinspeisung.....	297
Abbildung 14-5:	: Berechnung der produzierten Biogasmenge bei Gas-Otto-Motoren mit Überschusseinspeisung .....	298
Abbildung 14-6:	Berechnung der produzierten Biogasmenge bei Zündstrahl-Motoren mit Volleinspeisung.....	298
Abbildung 14-7:	Berechnung der produzierten Biogasmenge bei Zündstrahl-Motoren mit Überschusseinspeisung .....	299
Abbildung 14-8:	Prinzip Bewertung auf Basis FoTS .....	303
Abbildung 14-9:	Bilanzgrenze für die energetische Bewertung des Gärprozesses.....	309
Abbildung 14-10:	1. Ringversuch 2016: TS/oTS Auswertung erste; TS Maissilage 30,0 % ± 0,5 und Grassilage 28,0 % ± 0,9; oTS Maissilage 95,9 % ± 0,6 und Grassilage 88,6 % ± 1,0; relative maximale Abweichung TS ± 3,2 % und oTS ± 1,1 % .....	314
Abbildung 14-11:	2. Ringversuch 2017: TS/oTS Auswertung zweite; TS Maissilage 35,8 % ± 0,4 und Grassilage 19,9 % ± 0,3; oTS Maissilage 96,1 % ± 0,5 und Grassilage 92,8 % ± 0,7; relative maximale Abweichung TS ± 1,5 % und oTS ± 0,8 % .....	315
Abbildung 14-12:	Abweichung TS <sub>Korr</sub> und TS von Mais- und Grassilage im 1. und 2. Ringversuch; Lab 2 keine Korrektur.....	316
Abbildung 14-13:	Gemessene niedrige Fettsäurekonzentrationen (NFS) im 1. und 2. Ringversuch; Abweichungen von unter ± 0,8 g/kg <sub>FM</sub> für Maissilage und bis zu ± 5,9 g/kg <sub>FM</sub> .....	317
Abbildung 14-14:	Gemessene Milchsäure-Konzentrationen (MS) im 1. und 2. Ringversuch .....	317
Abbildung 14-15:	Gemessene 1,2-Propandiol (PD) im 1. und 2. Ringversuch .....	318
Abbildung 14-16:	Gemessene Konzentrationen anderer Alkohole (AA) im 1. und 2. Ringversuch .....	319
Abbildung 14-17:	Restgasuntersuchung Methanertrag und -gehalt im 1. und 2. Ringversuch .....	322
Abbildung 14-18:	FOS/TAC-Werte im 1. und 2. Ringversuch; Abweichungen von bis zu ± 0,084 (relativ 36,4 %) traten auf; klare Tendenzen sind zwischen den Laboren zu erkennen .....	323
Abbildung 14-19:	Rohfaser im 1. und 2. Ringversuch; Lab 1 ermittelt in jedem Fall einen deutlich höheren Rohfasergehalt als die Projektpartner; Die Messabweichungen betragen bis zu ± 75,9 g/kg <sub>TSK</sub> (relativ 25,73 %) .....	324
Abbildung 14-20:	FoTS-Werte im 1. und 2. Ringversuch; Abweichung bis zu ± 53,7 g/kg <sub>TSK</sub> (± 18,3 %) im 2. Ringversuch (1. Ringversuch bis zu 33,4 g/kg <sub>TSK</sub> (± 4,1 %)); Lab 4 im 2. Ringversuch nicht dabei, da keine Untersuchungen im BMP III; im 2. Ringversuch klare Tendenzen .....	325
Abbildung 14-21:	Rohasche im 1. und 2. Ringversuch; Lab 1 ermittelt in jedem Fall einen deutlich höheren Rohfasergehalt als die Projektpartner; Die Messabweichungen betragen bis zu ± 75,9 g/kg <sub>TSK</sub> (relativ 25,73 %) .....	326

Abbildung 14-22:	Kjeldahl-Stickstoff- und Ammoniumkonzentration im 1. und 2. Ringversuch; Lab 1 ermittelt in jedem Fall einen deutlich höheren Rohfasergehalt als die Projektpartner; Die Messabweichungen betragen bis zu $\pm 75,9 \text{ g/kg}_{\text{TSK}}$ (relativ 25,73 %)	327
Abbildung 14-23:	Brennwert im 1. und 2. Ringversuch	329
Abbildung 14-24:	Essigsäure im 1. und 2. Ringversuch; Die Messabweichungen betragen bis zu $\pm 0,22 \text{ g/kg}_{\text{FM}}$ (relativ 10,4 %)	330
Abbildung 14-25:	Propionsäure im 1. und 2. Ringversuch; Die Messabweichungen betragen bis zu $\pm 0,39 \text{ g/kg}_{\text{FM}}$ (relativ 29,4 %)	331
Abbildung 15-1:	Anlagenschema der BGA 01 und 02	333
Abbildung 15-2:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 01	335
Abbildung 15-3:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 01	336
Abbildung 15-4:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 01	336
Abbildung 15-5:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 02	339
Abbildung 15-6:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 02	340
Abbildung 15-7:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 02	340
Abbildung 15-8:	Anlagenschema der BGA 03	343
Abbildung 15-9:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 03	345
Abbildung 15-10:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 03	346
Abbildung 15-11:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 03	346
Abbildung 15-12:	Anlagenschema der BGA 04	349
Abbildung 15-13:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 04	351
Abbildung 15-14:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 04	352
Abbildung 15-15:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 04	352
Abbildung 15-16:	Anlagenschema der BGA 05	356
Abbildung 15-17:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 05	358
Abbildung 15-18:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 05	359
Abbildung 15-19:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 05	359
Abbildung 15-20:	Luftaufnahme der BGA 06	361
Abbildung 15-21:	Anlagenschema der BGA 06	362
Abbildung 15-22:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 06	364
Abbildung 15-23:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in den Fermentern der BGA 06	365
Abbildung 15-24:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 06	365
Abbildung 15-25:	Anlagenschema der BGA 07	368
Abbildung 15-26:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 07	370
Abbildung 15-27:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in den Fermentern der BGA 07	371
Abbildung 15-28:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 07	371
Abbildung 15-29:	Anlagenschema der BGA 08	374
Abbildung 15-30:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 08	376
Abbildung 15-31:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 08	377
Abbildung 15-32:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 08	377
Abbildung 15-33:	Ansicht BGA 09 mit Annahmehalle, Anmischbehälter und Fermenter	380
Abbildung 15-34:	Schema Biogasanlage 09	381

Abbildung 15-35:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 09 .....	383
Abbildung 15-36:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des parallel betriebenen Fermenter 1 und 2 der BGA 09 (Feb 17 keine Analyse in F2; Mai 17 keine Analyse in F1).....	384
Abbildung 15-37:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 09 .....	384
Abbildung 15-38:	Anlagenansicht BGA 10 mit Feststoffdosierer, Anmischbehälter, Fermenter, BHKW-Container u. Gärresttrocknung (im Hintergrund).....	387
Abbildung 15-39:	Anlagenschema BGA 10 .....	388
Abbildung 15-40:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 10 .....	389
Abbildung 15-41:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des parallel betriebenen Fermenter 1 und 2 der BGA 10 .....	390
Abbildung 15-42:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 10 .....	390
Abbildung 15-43:	Anlagenansicht der Biogasanlage 11 .....	393
Abbildung 15-44:	Anlagenschema BGA 11 .....	394
Abbildung 15-45:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 11 .....	395
Abbildung 15-46:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 11 .....	396
Abbildung 15-47:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 11 .....	396
Abbildung 15-48:	BGA 12 mit Annahmehunker, Pumpencontainer, Fermenter, Nachgärer (hinten) und Gärrestlager .....	399
Abbildung 15-49:	Anlagenschema der BGA 12 .....	400
Abbildung 15-50:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 12 .....	401
Abbildung 15-51:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 12 .....	402
Abbildung 15-52:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 12 .....	402
Abbildung 15-53:	BGA 13 mit Fermenter, Feststoffdosierer und Förderband .....	405
Abbildung 15-54:	Anlagenschema BGA 13 .....	406
Abbildung 15-55:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	408
Abbildung 15-56:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 13 .....	409
Abbildung 15-57:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 13 .....	409
Abbildung 15-58:	Anlagenansicht der Biogasanlage 14 mit Hydrolyse und Fermenter .....	412
Abbildung 15-59:	Anlagenschema der BGA 14 .....	413
Abbildung 15-60:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 14 .....	415
Abbildung 15-61:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 14 (Juli 2017: keine Daten vorhanden) .....	415
Abbildung 15-62:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 14 .....	416
Abbildung 15-63:	Feststoffdosierer und Fermenter der BGA 15 .....	419
Abbildung 15-64:	Anlagenschema BGA 15 .....	420
Abbildung 15-65:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 15 .....	422
Abbildung 15-66:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 15 (Jun/Jul 2017: keine Daten vorhanden) .....	422
Abbildung 15-67:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 15 .....	423
Abbildung 15-68:	Anlagenansicht der Biogasanlage 16 .....	426
Abbildung 15-69:	Anlagenschema BGA 16 .....	427
Abbildung 15-70:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 16 .....	429
Abbildung 15-71:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 16 (August 2017: keine Daten vorhanden).....	429

Abbildung 15-72:	Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 16 .....	430
Abbildung 15-73:	Anlagenschema BGA 17 .....	433
Abbildung 15-74:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	435
Abbildung 15-75:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	436
Abbildung 15-76:	Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	436
Abbildung 15-77:	Anlagenschema BGA 18; BHKW 3+4 sind Satelliten-BHKW .....	439
Abbildung 15-78:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	441
Abbildung 15-79:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	441
Abbildung 15-80:	Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung (Trocknung nicht enthalten) bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	442
Abbildung 15-81:	Anlagenschema BGA 19 .....	445
Abbildung 15-82:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	447
Abbildung 15-83:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	447
Abbildung 15-84:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	448
Abbildung 15-85:	Anlagenschema BGA 20 .....	451
Abbildung 15-86:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	453
Abbildung 15-87:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	453
Abbildung 15-88:	Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die installierte Leistung .....	454
Abbildung 15-89:	Anlagenschema BGA 21 .....	456
Abbildung 15-90:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	458
Abbildung 15-91:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	458
Abbildung 15-92:	Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	459
Abbildung 15-93:	Container Trocknung von Gewürzen .....	461
Abbildung 15-94:	Anlagenschema BGA 22 .....	462
Abbildung 15-95:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	464
Abbildung 15-96:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	464
Abbildung 15-97:	Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	465
Abbildung 15-98:	Anlagenschema BGA 23 in rot die Thermocracks .....	469
Abbildung 15-99:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	471
Abbildung 15-100:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	471
Abbildung 15-101:	Elektrische Auslastung und thermische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die installierte Leistung .....	472
Abbildung 15-102:	Anlagenschema BGA 24 .....	475
Abbildung 15-103:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	477
Abbildung 15-104:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	478
Abbildung 15-105:	Elektrische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	478
Abbildung 15-106:	Anlagenschema der BGA 25 .....	482
Abbildung 15-107:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	483
Abbildung 15-108:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	484
Abbildung 15-109:	Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	484
Abbildung 15-110:	Anlagenschema von BGA26 .....	487
Abbildung 15-111:	Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	489
Abbildung 15-112:	Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	489

Abbildung 15-113: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	490
Abbildung 15-114: Anlagenschema der BGA 27 .....	492
Abbildung 15-115: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	494
Abbildung 15-116: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe .....	495
Abbildung 15-117: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	495
Abbildung 15-118: Ansicht der BGA28 mit Biomasseheizkraftwerk (links im Hintergrund) .....	498
Abbildung 15-119: Anlagenschema der BGA 28 .....	499
Abbildung 15-120: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	501
Abbildung 15-121: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	501
Abbildung 15-122: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	502
Abbildung 15-123: Anlagenschema der BGA 29 .....	505
Abbildung 15-124: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	507
Abbildung 15-125: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe .....	507
Abbildung 15-126: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	508
Abbildung 15-127: Anlagenschema der BGA 30 .....	511
Abbildung 15-128: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	513
Abbildung 15-129: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe .....	513
Abbildung 15-130: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	514
Abbildung 15-131: Anlagenschema der Anlage 31 .....	517
Abbildung 15-132: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung – Anlage 31 .....	518
Abbildung 15-133: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe – Anlage 31 .....	519
Abbildung 15-134: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie – Anlage 31 .....	519
Abbildung 15-135: Anlagenschema von BGA32 .....	522
Abbildung 15-136: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung – Anlage 32 .....	524
Abbildung 15-137: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe – Anlage 32 .....	524
Abbildung 15-138: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie – Anlage 32 .....	525
Abbildung 15-139: Anlagenschema der BGA 33 .....	527
Abbildung 15-140: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 33; OW = Oberflächenwasser .....	529
Abbildung 15-141: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 33 .....	530
Abbildung 15-142: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 33 .....	530
Abbildung 15-143: Anlagenschema der BGA 34 .....	533
Abbildung 15-144: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 34 .....	535
Abbildung 15-145: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 34 .....	536

Abbildung 15-146: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 34 .....	537
Abbildung 15-147: Anlagenschema der BGA 35 .....	540
Abbildung 15-148: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 35 .....	542
Abbildung 15-149: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 35 .....	543
Abbildung 15-150: Anlagenschema der BGA 36 .....	546
Abbildung 15-151: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 36 .....	548
Abbildung 15-152: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 36 .....	549
Abbildung 15-153: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung der BGA 36 .....	549
Abbildung 15-154: Anlagenschema der BGA 37 .....	551
Abbildung 15-155: Lagerung einer Zuckerrüben-Getreideschrot-Mischung bei der BGA 37. Fehlendes Strukturmaterial führte zum Auseinanderrutschen des Haufens.....	553
Abbildung 15-156: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 37 .....	554
Abbildung 15-157: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in den Fermentern der BGA 37 .....	555
Abbildung 15-158: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 37 .....	555
Abbildung 15-159: Anlagenschema der BGA 38 .....	559
Abbildung 15-160: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 38 .....	561
Abbildung 15-161: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 38 .....	562
Abbildung 15-162: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 38 .....	562
Abbildung 15-163: Anlagenschema der BGA 39 .....	566
Abbildung 15-164: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 39 .....	568
Abbildung 15-165: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 39 .....	569
Abbildung 15-166: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 39 .....	569
Abbildung 15-167: BGA 40 mit beiden Fermentern und BHKW-Modulen.....	572
Abbildung 15-168: Anlagenschema BGA 40.....	573
Abbildung 15-169: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 40 .....	575
Abbildung 15-170: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter der BGA 40 .....	576
Abbildung 15-171: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung und thermische Auslastung der BGA 40 .....	576
Abbildung 15-172: Fermenter 2 (links), Hydrolyse (Mitte vorn), Gärrestlager (Mitte hinten), Nachgärbehälter (rechts) der BGA 41 .....	579
Abbildung 15-173: Anlagenschema der BGA 41 .....	580
Abbildung 15-174: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 41 .....	582
Abbildung 15-175: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes der parallelbetriebenen Fermenter der BGA 41 .....	583
Abbildung 15-176: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 41 .....	583
Abbildung 15-177: Anlagenansicht Fermenter und gasdichtes Gärrestlager .....	586
Abbildung 15-178: Anlagenschema BGA 42.....	587
Abbildung 15-179: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 42 .....	588
Abbildung 15-180: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenters der BGA 42 .....	589
Abbildung 15-181: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 42 .....	589
Abbildung 15-182: Feststoffdosierer, Fermenter1 und neu errichteter Nachgärbehälter (links) der Biogasanlage 43 .....	592
Abbildung 15-183: Anlagenschema BGA 43.....	593

Abbildung 15-184: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 43 .....	595
Abbildung 15-185: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenter 1 der BGA 43 (August 2018: keine Daten vorhanden - Revision Fermenter 1).....	595
Abbildung 15-186: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 43 .....	596
Abbildung 15-187: Anlagenansicht der BGA 44 mit Fermenter, Feststoffdosierer und BHKW-Container .....	599
Abbildung 15-188: Anlagenschema BGA 44 .....	600
Abbildung 15-189: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 44 .....	602
Abbildung 15-190: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenter 1 der BGA 44 (Feb 18 u. April 18 keine Analyse).....	602
Abbildung 15-191: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung und der theoretischen thermischen Auslastung durch Fremdnutzer der BGA 44 .....	603
Abbildung 15-192: Anlagenansicht der BGA 45 mit Fermentern und Gärrestlager .....	606
Abbildung 15-193: Anlagenschema BGA 45.....	607
Abbildung 15-194: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 45 .....	608
Abbildung 15-195: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes des Fermenter 1 und Fermenter 2 der BGA 45 .....	609
Abbildung 15-196: Anlagenschema BGA 46 .....	611
Abbildung 15-197: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge der BGA 46 .....	612
Abbildung 15-198: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Wertes der BGA 46 (April 2018 keine Analyse) .....	613
Abbildung 15-199: Zeitlicher Verlauf der gesamten elektrischen Auslastung der BGA 46 .....	613
Abbildung 15-200: Anlagenschema Biogasanlage 47 .....	616
Abbildung 15-201: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	618
Abbildung 15-202: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter.....	618
Abbildung 15-203: Elektrische Auslastung und thermische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die Höchstbemessungsleistung.....	619
Abbildung 15-204: Anlagenschema BGA 48 .....	622
Abbildung 15-205: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	624
Abbildung 15-206: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter.....	624
Abbildung 15-207: Elektrische Auslastung und Thermisch Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	625
Abbildung 15-208: Anlagenschema BGA 49.....	628
Abbildung 15-209: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	630
Abbildung 15-210: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter.....	630
Abbildung 15-211: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	631
Abbildung 15-212: Anlagenschema BGA 50.....	634
Abbildung 15-213: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	635
Abbildung 15-214: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter.....	636
Abbildung 15-215: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	636
Abbildung 15-216: Anlagenschema BGA 51.....	639
Abbildung 15-217: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	641
Abbildung 15-218: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter.....	641
Abbildung 15-219: Elektrische Auslastung und thermische Auslastung durch Fremdnutzer bezogen auf die Höchstbemessungsleistung.....	642
Abbildung 15-220: Pumpenraum der BGA 52 .....	645
Abbildung 15-221: Anlagenschema BGA 52.....	646
Abbildung 15-222: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	647
Abbildung 15-223: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter (unten) .....	648

Abbildung 15-224: Elektrische Auslastung bezogen auf die Höchstbemessungsleistung .....	648
Abbildung 15-225: Anlagenschema BGA 53, Gasaufbereitung erfolgt mittels pressure swing adsorption (PSA) .....	651
Abbildung 15-226: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	653
Abbildung 15-227: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC im Fermenter .....	653
Abbildung 15-228: Fließschema der Biogasanlage 54 .....	656
Abbildung 15-229: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	658
Abbildung 15-230: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	658
Abbildung 15-231: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW und des Nutzungsgrades der theoretisch zur Verfügung stehenden thermischen Energie .....	659
Abbildung 15-232: Fließschema der Biogasanlage 55 .....	662
Abbildung 15-233: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	664
Abbildung 15-234: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	664
Abbildung 15-235: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	665
Abbildung 15-236: Fließschema der Biogasanlage 56 .....	667
Abbildung 15-237: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	669
Abbildung 15-238: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	669
Abbildung 15-239: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	670
Abbildung 15-240: Ansicht der BGA57 mit Feststoffeintrag und Fermenter mit Rührgeräten (im Vordergrund) und Nachgärer mit Gasspeicherhaube (rechts im Hintergrund) .....	673
Abbildung 15-241: Fließschema der Biogasanlage 57 .....	674
Abbildung 15-242: Zeitlicher Verlauf der der zugeführten Substratmenge und deren Zusammensetzung .....	675
Abbildung 15-243: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	676
Abbildung 15-244: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	676
Abbildung 15-245: Fließschema von Biogasanlage 26 bzw. 58 .....	680
Abbildung 15-246: eitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	682
Abbildung 15-247: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten und zweiten Vergärungsstufe .....	682
Abbildung 15-248: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	683
Abbildung 15-249: Anlagenschema BGA 59 .....	685
Abbildung 15-250: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	687
Abbildung 15-251: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe .....	687
Abbildung 15-252: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	688
Abbildung 15-253: Anlagenschema BGA 60 .....	691
Abbildung 15-254: Zeitlicher Verlauf der zugeführten Substratmasse und deren Zusammensetzung .....	693
Abbildung 15-255: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC in der ersten Vergärungsstufe .....	693
Abbildung 15-256: Zeitlicher Verlauf der elektrischen Auslastung der BHKW .....	694
Abbildung 15-257: Anlagenschema BGA 61 .....	697
Abbildung 15-258: Zeitlicher Verlauf der Substratzusammensetzung und der zugeführten Substratmenge .....	699
Abbildung 15-259: Zeitlicher Verlauf des FOS/TAC-Werts der BGA .....	699

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Rücklauf der Betreiberbefragung – Größenklassenverteilung und Verteilung Gesamtanlagenbestand, Bezug: Anlagenzahl (Biogasanlagen Deutschland, GG = Grundgesamtheit), Bezugsjahr 2015 .....	9
Tabelle 3-2:	Rücklauf der Betreiberbefragung bezogen auf den Zeitraum der Inbetriebnahme der Biogasanlagen .....	9
Tabelle 3-3:	Notwendige Prozessdaten für eine vollständige Anlagenbewertung.....	10
Tabelle 3-4:	Analysierte Parameter zur Charakterisierung von Stoffströmen mit Angabe von Ort und Häufigkeit der Probennahme sowie der Methodenvorschrift.....	12
Tabelle 3-5:	Auflistung der Untersuchungsparameter und der untersuchten Proben .....	15
Tabelle 3-6:	Mittelwerte und absolute maximale Abweichung aller Untersuchungen unter Verwendung der Bezeichnungen von Tabelle 3-5 .....	16
Tabelle 3-7:	Vergleich von Kennwerten zur Beurteilung der Effizienz des Gärprozesses .....	21
Tabelle 3-8:	Regeln für die Zusammenfassung der Bewertung in den Kategorien Biogasproduktion bzw. Biogasverwertung; Lesebeispiel (Regel Nr. 3): Wenn die relative Biogausausbeute „sehr gut“ und die Methanproduktivität „ausreichend“ ist, wird die Anlage in der Kategorie Biogasproduktion mit „gut“ bewertet. ....	24
Tabelle 3-9:	Regeln für die Ableitung der Gesamtbewertung. ....	26
Tabelle 3-10:	Fallklassifizierung für die Kriterien "Gülleanteil", "Temperaturbereich" und "Fermenterform" zur Abschätzung des Eigenwärmebedarfs .....	27
Tabelle 3-11:	Fallklassifizierung des Eigenwärmebedarfs in Abhängigkeit der Kriterien "Gülleanteil", "Temperaturbereich" und "Fermenterform".....	27
Tabelle 3-12:	Abschätzung des anteiligen Eigenwärmebedarfs nach drei Fällen .....	27
Tabelle 3-13:	Kalkulatorische Erlöse .....	30
Tabelle 3-14:	Kalkulatorische Kosten .....	30
Tabelle 3-15:	Pagatorische Erlöse .....	31
Tabelle 3-16:	Pagatorische Kosten .....	31
Tabelle 3-17:	Abschreibungskategorie und Abschreibungsdauer .....	33
Tabelle 4-1:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 01 bis BGA 05 .....	48
Tabelle 4-2:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 06 bis BGA 10 .....	49
Tabelle 4-3:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 11 bis BGA 15 .....	50
Tabelle 4-4:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 16 bis BGA 19 .....	51
Tabelle 4-5:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 20 bis BGA 23 .....	52
Tabelle 4-6:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 24 bis BGA 28 .....	53
Tabelle 4-7:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 29 bis BGA 33 .....	54
Tabelle 4-8:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 34 bis BGA 38 .....	55
Tabelle 4-9:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 39 bis BGA 43 .....	56
Tabelle 4-10:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 44 bis BGA 48 .....	57
Tabelle 4-11:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 49 bis BGA 53 .....	58
Tabelle 4-12:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 54 bis BGA 57 .....	59
Tabelle 4-13:	Überblick über wichtige Charakteristika der 61 BGA des BMP III - BGA 58 bis BGA 61 .....	60

Tabelle 5-1:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 06 .....	63
Tabelle 5-2:	Datenblatt zur Biogasanlage 06 .....	66
Tabelle 5-3:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 06 im Jahr 2017 .....	67
Tabelle 5-4:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 11 .....	69
Tabelle 5-5:	Datenblatt BGA 11 .....	72
Tabelle 5-6:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 11 im Jahr 2017 .....	73
Tabelle 5-7:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 16 .....	76
Tabelle 5-8:	Datenblatt der Biogasanlage 16 .....	79
Tabelle 5-9:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 16 im Wirtschaftsjahr 2017/18 (01.05. - 30.04.) .....	80
Tabelle 5-10:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 22 .....	83
Tabelle 5-11:	Datenblatt der Biogasanlage 22 .....	86
Tabelle 5-12:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 11 im Jahr 2017 .....	87
Tabelle 5-13:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA 28 .....	90
Tabelle 5-14:	Datenblatt der Biogasanlage 28 .....	93
Tabelle 5-15:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 28 im Jahr 2017 .....	94
Tabelle 5-16:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 35 .....	96
Tabelle 5-17:	Datenblatt der Biogasanlage 35 .....	99
Tabelle 5-18:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 35 im Jahr 2017 .....	100
Tabelle 5-19:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 37 .....	103
Tabelle 5-20:	Datenblatt Biogasanlage 37 .....	106
Tabelle 5-21:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 37 im Jahr 2017 .....	107
Tabelle 5-22:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 43 .....	110
Tabelle 5-23:	Datenblatt der Biogasanlage 43 .....	113
Tabelle 5-24:	Betriebszweigabrechnung der BGA 43 im Betrachtungszeitraum im Wirtschaftsjahr 2017/18 (01.07.-30.06.) .....	114
Tabelle 5-25:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 52 .....	116
Tabelle 5-26:	Datenblatt der Biogasanlage 52 .....	119
Tabelle 5-27:	Betriebszweigabrechnung der BGA 52 im Kalenderjahr 2017 .....	120
Tabelle 5-28:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA 57 .....	123
Tabelle 5-29:	Datenblatt der Biogasanlage 57 .....	126
Tabelle 5-30:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 57 im Jahr 2017 .....	127
Tabelle 6-1:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte zur Gasverwertung der Biogasanlagen (n = 61) .....	142
Tabelle 6-2:	Mittlere, minimale und maximale Massenanteile der fünf meist eingesetzten Substrate der untersuchten Biogasanlagen im BMP III (n = 61) .....	146
Tabelle 6-3:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte zur Substratzusammensetzung der einzelnen Prozessstufen .....	147
Tabelle 6-4:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte zur Gasqualität .....	158
Tabelle 6-5:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte zum Substratumsatz und zur Methanausbeute der Biogasanlagen .....	163
Tabelle 6-6:	Darstellung der Mittelwerte sowie der min. und max. Werte des absoluten Restmethanpotentials bei 37°C, 60 Tage Gärdauer .....	170
Tabelle 6-7:	Darstellung der Mittelwerte sowie der min. und max. Werte des relativen Restmethanpotentials bei 37°C und einer Gärdauer von 60 Tagen, bezogen auf die erzielte relativen Methanausbeute pro Tonne Substratinput .....	174
Tabelle 6-8:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte der jährlichen Erlöse .....	190
Tabelle 6-9:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte der jährlichen Kosten .....	191
Tabelle 6-10:	Substratkosten frei Silo, Bewertungszeitraum: 1. Juli 2016 bis 31. Dezember 2017, Werte gerundet .....	194
Tabelle 6-11:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte der jährlichen sonstigen Kosten .....	197
Tabelle 6-12:	Zusammenstellung der mittleren, minimalen und maximalen Werte zur Gesamtwirtschaftlichkeit .....	200

Tabelle 6-13:	Änderung der jährlichen Gesamtwirtschaftlichkeit bei einer entsprechenden Änderung der Substratkosten.....	204
Tabelle 6-14:	Änderung der jährlichen Gesamtwirtschaftlichkeit bei einer Reinvestition in bauliche und technische Anlagen sowie dem BHKW für eine 10-jährige Laufzeitverlängerung; Reinvestitionen prozentual bezogen auf das Gesamtinvestitionsvolumen der Biogasanlagen (rot = negatives Betriebszweigergebnis nach Re-Invest, gelb = jährliche Gesamtwirtschaftlichkeit $\leq 2$ ct/kWh <sub>el</sub> nach Re-Invest; grün = jährliche Gesamtwirtschaftlichkeit $> 2$ ct/kWh <sub>el</sub> nach Re-Invest (Bsp.: BGA 01 vor Re-Invest: 4,40 ct/kWh <sub>el</sub> , nach 10 % Re-Invest: 3,92 ct/kWh <sub>el</sub> [4,40 ct/kWh <sub>el</sub> - 0,48 ct/kWh <sub>el</sub> ]).....	205
Tabelle 7-1:	Übersicht des Bewertungsergebnisses mit der Basismethode für 48 Biogasanlagen im Messprogramm nach Effizienzklassen .....	207
Tabelle 7-2:	Zahlenmäßige Beschreibung des Bewertungsergebnisses nach Tabelle 7-1 .....	207
Tabelle 7-3:	Vergleich der vier Biogasanlagen im Messprogramm mit ungenügender Bewertung der Leistungsausnutzung .....	213
Tabelle 7-4:	Anlagenstatus von BGA 13 versus BGA 43 nach der Basismethode.....	214
Tabelle 7-5:	Anlagenstatus von BGA 26 versus BGA 58 nach der Basismethode.....	215
Tabelle 7-6:	Übersicht über die Verfügbarkeit von Messdaten und gegebenenfalls Ersatzwerten für die Bewertung der Biogasanlagen im Messprogramm mit der Basismethode (1: ja/vorhanden; 0: nein/nicht vorhanden; schraffierte Felder: nicht zutreffend) .....	216
Tabelle 14-1:	Übersicht über erhobene Parameter und Methoden zur Bestimmung .....	255
Tabelle 14-2:	Beispielhafte Beprobung eines Silos .....	257
Tabelle 14-3:	Kalibrierung der Head-Space-GC .....	264
Tabelle 14-4:	Einstellungen des Gaschromatographen Agilent 7980A .....	265
Tabelle 14-5:	Einstellungen am Head-Space-Probengeber PerkinElmer Turbo Matrix 110 .....	266
Tabelle 14-6:	Kalibrierung der HPLC mit Beschriftung der Analyten in Abbildung 14-2 .....	269
Tabelle 14-7:	Einstellungen der HPLC (Shimadzu) .....	271
Tabelle 14-8:	Anzahl der Mehrfachbestimmung der für die TS-Korrektur notwendigen Analysen .....	272
Tabelle 14-9:	Analytisch ermittelte Kenngrößen .....	272
Tabelle 14-10:	Mittlere Konzentrationen nicht bestimmbarer Stoffgruppen zur Korrektur des TS-Gehaltes .....	273
Tabelle 14-11:	Rechnerisch ermittelte Kenngrößen zur Korrektur des TS-Gehaltes .....	274
Tabelle 14-12:	Analytisch ermittelte Kenngrößen zur Bestimmung des Brennwertes .....	280
Tabelle 14-13:	Rechnerisch ermittelte Kenngrößen zur Bestimmung des Brennwertes .....	281
Tabelle 14-14:	Nasschemische Behandlung der Probe zur Bestimmung der Rohfaser (vgl. Liebetrau et al. 2015) .....	284
Tabelle 14-15:	Anzahl der Mehrfachbestimmung der für die TS-Korrektur notwendigen Analysen .....	285
Tabelle 14-16:	Analytisch ermittelte Kenngrößen zur Bestimmung des FoTS .....	285
Tabelle 14-17:	Rechnerisch ermittelte Kenngrößen zur Bestimmung des FoTS .....	286
Tabelle 14-18:	Analytisch ermittelte Kenngrößen .....	288
Tabelle 14-19:	Gegebenenfalls umzurechnende Kenngrößen .....	288
Tabelle 14-20:	Titrationsequenz.....	291
Tabelle 14-21:	Volumeninkremente in Abhängigkeit der Säurekonzentration .....	291
Tabelle 14-22:	Analytisch ermittelte Kenngrößen zur Erfassung hochaufgelöster Titrationskurven .....	293
Tabelle 14-23:	Rechnerisch ermittelte Kenngrößen zur Erfassung hochaufgelöster Titrationskurven .....	293
Tabelle 14-24:	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis .....	294
Tabelle 14-25:	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis .....	302
Tabelle 14-26:	Schätzgleichung für die FoTS [g / kg TS] nach Weißbach (2008, 2009b, 2009a, 2011a, 2012) .....	305
Tabelle 14-27:	Auf der Biogasanlage aufgenommene Kenngrößen.....	306
Tabelle 14-28:	Analytisch ermittelte Kenngrößen.....	306
Tabelle 14-29:	Rechnerisch ermittelte Kenngrößen .....	307

Tabelle 14-30:	Symbol- und Abkürzungsverzeichnis .....	308
Tabelle 14-31:	Methanausbeute im 1. und 2. Ringversuch am Beispiel getrocknete Maissilage und frische Maissilage; Die Messabweichungen betragen bis zu $\pm 0,39 \text{ g/kg}_{\text{FM}}$ (relativ $\pm 29,4 \%$ ).....	320
Tabelle 14-32:	Spurenelementuntersuchungen 1. Ringversuch; n.b. = nicht bestimmt .....	328
Tabelle 15-1:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 01 und 02 (baugleich) ...	334
Tabelle 15-2:	Datenblatt der Biogasanlage 01 .....	337
Tabelle 15-3:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 01 im Jahr 2017.....	338
Tabelle 15-4:	Datenblatt der Biogasanlage 02 .....	341
Tabelle 15-5:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 02 im Jahr 2017 .....	342
Tabelle 15-6:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 03 .....	344
Tabelle 15-7:	Datenblatt der Biogasanlage 03 .....	347
Tabelle 15-8:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 03 im Jahr 2017.....	348
Tabelle 15-9:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 04 .....	350
Tabelle 15-10:	Datenblatt der Biogasanlage 04 .....	353
Tabelle 15-11:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 04 im Jahr 2017.....	354
Tabelle 15-12:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 05 .....	357
Tabelle 15-13:	Datenblatt der Biogasanlage 05 .....	360
Tabelle 15-14:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 06 .....	363
Tabelle 15-15:	Datenblatt der Biogasanlage 06 .....	366
Tabelle 15-16:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 06 im Jahr 2017.....	367
Tabelle 15-17:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 07 .....	369
Tabelle 15-18:	Datenblatt der Biogasanlage 07 .....	372
Tabelle 15-19:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 07 im Jahr 2017 .....	373
Tabelle 15-20:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 08 .....	375
Tabelle 15-21:	Datenblatt der Biogasanlage 08 .....	378
Tabelle 15-22:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 08 im Jahr 2017.....	379
Tabelle 15-23:	Messtechnische Ausstattung der Biogasanlage 09 .....	382
Tabelle 15-24:	Datenblatt der Biogasanlage 09 .....	385
Tabelle 15-25:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 09 im Jahr 2017.....	386
Tabelle 15-26:	Messtechnische Ausstattung der Biogasanlage 10 .....	388
Tabelle 15-27:	Datenblatt der Biogasanlage 10 .....	391
Tabelle 15-28:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 10 im Jahr 2017.....	392
Tabelle 15-29:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 11 .....	394
Tabelle 15-30:	Datenblatt der Biogasanlage 11 .....	397
Tabelle 15-31:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 11 im Jahr 2017.....	398
Tabelle 15-32:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 12 .....	400
Tabelle 15-33:	Datenblatt der Biogasanlage 12 .....	403
Tabelle 15-34:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 12 im Jahr 2017.....	404
Tabelle 15-35:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 13 .....	407
Tabelle 15-36:	Datenblatt der Biogasanlage 13 .....	410
Tabelle 15-37:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 13 im Wirtschaftsjahr 2016/17 (01.07.-30.06.) .....	411
Tabelle 15-38:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 14 .....	414
Tabelle 15-39:	Datenblatt der Biogasanlage 14 .....	417
Tabelle 15-40:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 14 im Jahr 2017 .....	418
Tabelle 15-41:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 15 .....	421
Tabelle 15-42:	Datenblatt der Biogasanlage 15 .....	424
Tabelle 15-43:	Ökonomische Datenblatt der Biogasanlage 15 im Jahr 2017.....	425
Tabelle 15-44:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 16 .....	428
Tabelle 15-45:	Datenblatt der Biogasanlage 16 .....	431
Tabelle 15-46:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 16 im Wirtschaftsjahr 2017/18 (01.05. - 30.04.) .....	432
Tabelle 15-47:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 17 .....	434
Tabelle 15-48:	Datenblatt der Biogasanlage 17 .....	437
Tabelle 15-49:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 17 im Wirtschaftsjahr 2017 ....	438
Tabelle 15-50:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 18.....	440
Tabelle 15-51:	Datenblatt der Biogasanlage 18 .....	443
Tabelle 15-52:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 18 im Wirtschaftsjahr 2017 ....	444
Tabelle 15-53:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 19 .....	446

Tabelle 15-54:	Datenblatt der Biogasanlage 19 .....	449
Tabelle 15-55:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 19 im Wirtschaftsjahr 2017 ....	450
Tabelle 15-56:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 20 .....	452
Tabelle 15-57:	Datenblatt der Biogasanlage 20 .....	455
Tabelle 15-58:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 21 .....	457
Tabelle 15-59:	Datenblatt der Biogasanlage 21 .....	460
Tabelle 15-60:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 22 .....	463
Tabelle 15-61:	Datenblatt der Biogasanlage 22 .....	466
Tabelle 15-62:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 22 im Jahr 2017 .....	467
Tabelle 15-63:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 23 .....	470
Tabelle 15-64:	Datenblatt der Biogasanlage 23 .....	473
Tabelle 15-65:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 22 im Wirtschaftsjahr 2016/17 (01.10. – 30.09.) .....	474
Tabelle 15-66:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 23 .....	476
Tabelle 15-67:	Datenblatt der Biogasanlage 24 .....	479
Tabelle 15-68:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 24 im Jahr 2017 .....	480
Tabelle 15-69:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 25 .....	482
Tabelle 15-70:	Datenblatt der Biogasanlage 25 .....	485
Tabelle 15-71:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 25 im Jahr 2017 .....	486
Tabelle 15-72:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA26 .....	488
Tabelle 15-73:	Datenblatt der Biogasanlage 26 .....	491
Tabelle 15-74:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 27 .....	493
Tabelle 15-75:	Datenblatt der Biogasanlage 27 .....	496
Tabelle 15-76:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 27 im Jahr 2017 .....	497
Tabelle 15-77:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA28 .....	500
Tabelle 15-78:	Datenblatt der Biogasanlage 28 .....	503
Tabelle 15-79:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 28 im Jahr 2017 .....	504
Tabelle 15-80:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 29 .....	506
Tabelle 15-81:	Datenblatt der Biogasanlage 29 .....	509
Tabelle 15-82:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 29 im Jahr 2017 .....	510
Tabelle 15-83:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 30 .....	512
Tabelle 15-84:	Datenblatt der Anlage 30 .....	515
Tabelle 15-85:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 31 .....	517
Tabelle 15-86:	Datenblatt der Biogasanlage 31 .....	520
Tabelle 15-87:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 31 im Jahr 2017 .....	521
Tabelle 15-88:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA32 .....	523
Tabelle 15-89:	Datenblatt der Anlage 32 .....	526
Tabelle 15-90:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 33 .....	528
Tabelle 15-91:	Datenblatt der Biogasanlage 33 .....	531
Tabelle 15-92:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 33 im Jahr 2017 .....	532
Tabelle 15-93:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 34 .....	534
Tabelle 15-94:	Datenblatt der Biogasanlage 34 .....	538
Tabelle 15-95:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 34 im Jahr 2017 .....	539
Tabelle 15-96:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 35 .....	541
Tabelle 15-97:	Datenblatt der Biogasanlage 35 .....	544
Tabelle 15-98:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 35 im Jahr 2017 .....	545
Tabelle 15-99:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 36 .....	547
Tabelle 15-100:	Datenblatt der Biogasanlage 36 .....	550
Tabelle 15-101:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 37 .....	552
Tabelle 15-102:	Datenblatt der Biogasanlage 37 .....	556
Tabelle 15-103:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 37 im Jahr 2017 .....	557
Tabelle 15-104:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 38 .....	560
Tabelle 15-105:	Datenblatt der Biogasanlage 38 .....	563
Tabelle 15-106:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 38 im Jahr 2017 .....	564
Tabelle 15-107:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 39 .....	567
Tabelle 15-108:	Datenblatt der Biogasanlage 39 .....	570
Tabelle 15-109:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 39 im Jahr 2017 .....	571
Tabelle 15-110:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 40 .....	574
Tabelle 15-111:	Datenblatt der Biogasanlage 40 .....	577
Tabelle 15-112:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 40 für das Jahr 2017 .....	578

Tabelle 15-113:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 41 .....	581
Tabelle 15-114:	Datenblatt der Biogasanlage 41 .....	584
Tabelle 15-115:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 41 im Jahr 2017 .....	585
Tabelle 15-116:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 42 .....	587
Tabelle 15-117:	Datenblatt der Biogasanlage 42 .....	590
Tabelle 15-118:	Ökonomisches Datenblatt für die BGA 42 im Jahr 2017 .....	591
Tabelle 15-119:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 43 .....	594
Tabelle 15-120:	Datenblatt der Biogasanlage 43 .....	597
Tabelle 15-121:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 43 im Wirtschaftsjahr 2017/18 (01.07.-30.06.) .....	598
Tabelle 15-122:	Messtechnische Ausstattung Biogasanlage 44 .....	601
Tabelle 15-123:	Datenblatt der Biogasanlage 44 .....	604
Tabelle 15-124:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 44 im Jahr 2017 .....	605
Tabelle 15-125:	Messtechnische Ausstattung Biogasanlage 45 .....	607
Tabelle 15-126:	Datenblatt der Biogasanlage 45 .....	610
Tabelle 15-127:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 46 .....	612
Tabelle 15-128:	Datenblatt der Biogasanlage 46 .....	614
Tabelle 15-129:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 46 im Jahr 2017 .....	615
Tabelle 15-130:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 47 .....	617
Tabelle 15-131:	Datenblatt der Biogasanlage 47 .....	620
Tabelle 15-132:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 47 im Jahr 2017 .....	621
Tabelle 15-133:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 48 .....	623
Tabelle 15-134:	Datenblatt der Biogasanlage 48 .....	626
Tabelle 15-135:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 48 im Jahr 2017 .....	627
Tabelle 15-136:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 49 .....	629
Tabelle 15-137:	Datenblatt der Biogasanlage 49 .....	632
Tabelle 15-138:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 49 im Jahr 2017 .....	633
Tabelle 15-139:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 50 .....	635
Tabelle 15-140:	Datenblatt der Biogasanlage 50 .....	637
Tabelle 15-141:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 50 im Jahr 2017 .....	638
Tabelle 15-142:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 51 .....	640
Tabelle 15-143:	Datenblatt der Biogasanlage 51 .....	643
Tabelle 15-144:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 51 im Jahr 2017 .....	644
Tabelle 15-145:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 52 .....	646
Tabelle 15-146:	Datenblatt der Biogasanlage 52 .....	649
Tabelle 15-147:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 52 im Jahr 2017 .....	650
Tabelle 15-148:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 53 .....	652
Tabelle 15-149:	Datenblatt der Biogasanlage 53 .....	654
Tabelle 15-150:	Ökonomisches Datenblatt der Biogasanlage 53 im Jahr 2017 .....	655
Tabelle 15-151:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 54 .....	657
Tabelle 15-152:	Datenblatt BGA 54 .....	660
Tabelle 15-153:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 54 im Jahr 2017 .....	661
Tabelle 15-154:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 55 .....	663
Tabelle 15-155:	Datenblatt der Anlage 55 .....	666
Tabelle 15-156:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 56 .....	668
Tabelle 15-157:	Datenblatt der Anlage 56 .....	671
Tabelle 15-158:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 56 im Jahr 2017 .....	672
Tabelle 15-159:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA 57 .....	674
Tabelle 15-160:	Datenblatt der Biogasanlage 57 .....	677
Tabelle 15-161:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 57 im Jahr 2017 .....	678
Tabelle 15-162:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 58 .....	681
Tabelle 15-163:	Datenblatt der Anlage 58 .....	684
Tabelle 15-164:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 59 .....	686
Tabelle 15-165:	Datenblatt der Anlage 59 .....	689
Tabelle 15-166:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 59 im Jahr 2017 .....	690
Tabelle 15-167:	Übersicht der realisierten Messaufgaben für BGA60 .....	692
Tabelle 15-168:	Datenblatt der Anlage 60 .....	695
Tabelle 15-169:	Übersicht der vorhandenen Messtechnik der BGA 61 .....	698
Tabelle 15-170:	Datenblatt der Biogasanlage 61 .....	700
Tabelle 15-171:	Ökonomisches Datenblatt für die Biogasanlage 61 im Jahr 2017 .....	701

## 12 Glossar

**Abbau:** Zerlegung org. Verbindungen in einfachere Verbindungen oder Moleküle durch biotische oder abiotische Prozesse.

**Abbaubarkeit:** Die Eigenschaft eines Stoffes, durch biochemische, chemische oder physikalische Reaktionen umgewandelt werden zu können. Endprodukte der Reaktionen sind entweder andere Verbindungen (Metabolite) oder im Falle der vollständigen Mineralisierung CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> sowie weitere Mineralstoffe.

**Abbaugrad:** Der Grad des biologischen oder chemischen Abbaus organischer Verbindungen. Wird berechnet als Differenz der Menge organischer Verbindungen im Substrat und Gärrest, bezogen auf die Menge organischer Verbindungen im Substrat.

**Abfall:** Bewegliche Gegenstände, Stoffe, Rückstände oder Reste, deren sich der Besitzer entledigen will, nennt man Abfall. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz unterscheidet nach Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung.

**Abschreibung:** Jährlich in einer ökonomischen Bilanz zu berücksichtigender Betrag, der der Neubeschaffung einer Investition dient. Die Abschreibungszeiträume werden entsprechend der Lebensdauer angesetzt (bspw. für technische Investitionen kürzer als für Baumaßnahmen).

**Acetogenese:** Biochemische Bildung von Essigsäure unter Anfall von H<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> aus den Abbauprodukten der Hydrolyse.

**Ammoniak (NH<sub>3</sub>):** Stickstoffhaltiges, stark stechend riechendes, farbloses und giftiges Gas, das auf biochemischem Wege aus dem Abbau stickstoffhaltiger Verbindungen wie z. B. Eiweiß, Harnstoff und Harnsäure entsteht und in Wasser zu Ammonium dissoziiert.

**Amortisation:** Zeitraum, in dem die Gesamtinvestitionssumme über den Reingewinn zuzüglich der Abschreibungsbeträge erwirtschaftet werden kann.

**Anaerober Abbau:** Abbau organischer Substanzen ohne Sauerstoffzehrung durch anaerobe Mikroorganismen, teilweise wird dadurch Biogas freigesetzt.

**Anaerober energetischer Umsatzgrad:** Kennzahl des Gärprozesses die angibt, welcher Anteil der potentiell anaerob umsetzbaren Energie des Substrats (ermittelt durch Brennwertbestimmung) tatsächlich umgesetzt wurde. Lignin und dessen Energie werden als anaerob nicht umsetzbar betrachtet.

**Arbeitsausnutzung:** siehe BHKW-Arbeitsausnutzung.

**Arbeitsvolumen:** gasdichtes Nutzvolumen eines Gärbehälters, dass zur Vergärung verwendet werden kann.

**Aufbereitung:** Verfahrensschritt zur Vorbehandlung von Substraten (z. B. Zerkleinern, Abtrennen von Störstoffen, Homogenisieren).

**Betriebskosten:** Kosten für Substratbereitstellung, Verbrauchsmaterial, Reparaturen (Personal und Ersatzteile), Analysen, Eigenstrombedarf, Ausbringkosten und Wartungsverträge.

**Betriebszweig:** Ein Betriebszweig ist ein auf die Produktion eines oder mehrerer Produkte oder die Erbringung von Leistungen ausgerichteter Teilbereich eines landwirtschaftlich geprägten Unternehmens beliebiger Rechtsform.

**BHKW-Auslastung:** prozentualer Anteil der (mittleren) Leistung an der installierten Leistung.

**BHKW-Arbeitsausnutzung:** prozentualer Anteil der in einem Betrachtungszeitraum tatsächlich erzeugten Arbeit an der theoretisch durch eine Anlage erzeugbaren Arbeit (Energienmenge).

**BHKW-Leistungsausnutzung:** prozentuales Verhältnis der tatsächlich im Mittel abgegebenen elektrischen BHKW-Leistung zur festgelegten Höchstbemessungsleistung.

**Biogas:** Produkt des anaeroben biologischen Abbaus organischer Substrate; enthält 45 – 70 % Methan, 30 - 55 % Kohlendioxid, geringe Mengen an Stickstoff, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff und anderen Spurengasen.

**Biogasertragstest (VDI-Richtlinie 4630):** Analyseverfahren zur Ermittlung des Biogaspotentials von Substraten im Labor, meist diskontinuierlich ausgeführt (engl. Batch).

**Biomethan:** regenerative Alternative für fossiles Erdgas. Wird aus Biogas gewonnen, indem die Anteile von Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff (z. T. auch weitere Spurengase) aus dem Biogas mittels physikalischer oder chemischer Verfahren entfernt werden („Biogasaufbereitung“). Biogasanlagen, welche das Biogas zu Biomethan aufbereiten, werden als Biomethananlagen bezeichnet. Das Biomethan kann ins Erdgasnetz eingespeist werden.

**Blockheizkraftwerk (BHKW):** Aggregat zur Erzeugung von elektrischem Strom und Wärmeenergie mittels eines Motors und eines daran gekoppelten Generators.

**Brutto-Umsatzrendite:** definiert als Differenz aus dem ordentlichen Betriebsergebnis (Gewinn vor Steuern, nach Zinsen und Abschreibungen) dividiert durch die Umsatzerlöse (Strom-, Wärme- und sonstige Erlöse).

**C:N-Verhältnis:** Verhältnis der Kohlenstoff- zur Stickstoffmenge; das C:N-Verhältnis im zu vergärenden Gut nimmt Einfluss auf die Stabilität des Gärprozesses.

**Deckungsbeitrag:** Jährliche Einnahmen abzüglich der jährlichen Betriebskosten (Gesamtkosten abzüglich der Fixkosten).

**Durchsatz:** Die der Biogasanlage zugeführte Menge an Substrat je Zeiteinheit.

**Eigenstrombedarf:** Anteil der produzierten Strommenge einer Biogasanlage, der für den Betrieb der Anlage selbst benötigt wird.

**Eigenwärmebedarf:** Anteil der produzierten Wärmemenge einer Biogasanlage, der für den Betrieb der Anlage selbst benötigt wird und im Wesentlichen den Wärmebedarf der Gärbehälter umfasst.

**Einsatzstoff:** siehe Substrat.

**Energetischer Umsatzgrad:** Kennzahl des Gärprozesses, die angibt, welcher Anteil der mit dem Substrat eingebrachten Energie im Biogasprozess tatsächlich umgesetzt wurde.

**Erneuerbare-Energien-Gesetz:** Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien im deutschen Stromnetz

**Entschwefelung:** Verfahrensschritt (biologisch, chemisch od. physikalisch) zur Entfernung des Schwefelwasserstoffanteils aus dem Biogas.

**Essigsäureäquivalent:** Summe der Konzentrationen flüchtiger organischer Säuren umgerechnet auf die äquivalente Konzentration an Essigsäure.

**Externe Wärmenutzung:** Wärmenutzung außerhalb des Anlagenbetriebs (auch: „Wärmeabsatz“).

**Fermenter:** Beheizter, gasdichter Behälter, der direkt mit Substrat beschickt wird und in dem der mikrobiologische Abbau des Substrates bei gleichzeitiger Biogasbildung stattfindet. In der Praxis wird der Begriff als Synonym zu Gärbehälter verwendet. Bei Biogasanlagen mit mehreren Gärbehältern in Reihe findet typischerweise der größte Anteil der Biogasbildung im ersten Gärbehälter in der Reihe oder auch Hauptgärbehälter (Hauptfermenter) statt.

**Fermentersystem:** Gesamtheit aller beheizten Behälter/Fermenter.

**Fermentierbare organische Trockensubstanz (FoTS):** Anteil der organischen Trockensubstanz, der unter anaeroben Bedingungen im Gärprozess umgesetzt werden kann.

**Feststoffeintrag:** Verfahren oder Anlagenteil zum Einbringen von nicht pumpfähigen Substraten oder Substratgemischen direkt in den Fermenter.

**Fixkosten:** Kosten für Abschreibungen, Kreditzinsen, Versicherung und Personalkosten für Routinearbeiten.

**FOS/TAC:** Parameter zur Beurteilung der Prozessstabilität. Quotient aus den durch Titration von zentrifugiertem Reaktormaterial mit 0,1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bestimmte Mengen an flüchtigen organischen Säuren (pH 5,0 bis 4,4) und der Pufferkapazität (Ausgangs-pH bis pH 5,0)

**Gasdichtes System:** Gesamtheit aller an die Gasnutzung angeschlossenen Behälter.

**Gärrest:** flüssiger oder fester Rückstand der Biogasgewinnung als Abfluss des gasdichten Systems der Behälter.

**Gärbehälter:** gasdicht abgeschlossener, beheizter Behälter zur Biogasgewinnung

**Gärrestlager:** Behälter oder Erdbecken, in dem das vergorene Substrat vor der weiteren Nutzung gelagert wird.

**Gärstrecke:** Gesamtheit der Gärbehälter einer Biogasanlage.

**Gasspeicher:** Gasdichter Behälter oder Foliensack, in dem das Biogas zwischengespeichert wird.

**Höchstbemessungsleistung:** höchste genehmigte elektrische Gesamtleistung aller BHKW einer Anlage im Jahresdurchschnitt nach EEG.

**Hydraulische Verweilzeit:** durchschnittliche, theoretische Verweildauer des in einen Fermenter zugegebenen Materials; durch Rückführung („Rezirkulation“) von vergorenem Material kann die Summe der rechnerischen hydraulischen Verweilzeiten der einzelnen Fermenter deutlich geringer sein als die Verweilzeit im gesamten Fermentersystem.

**Hydrolyse:** Erster Schritt des mikrobiellen Abbaus der Substrate: polymere Verbindungen (z. B. Stärke) werden unter Wasseranlagerung in monomere Untereinheiten aufgespalten. Daran anschließend erfolgt die Bildung kurzkettiger organischer Säuren und Alkohole (Acidogenese). In der Praxis sind die Prozessschritte der Hydrolyse und Acidogenese nicht klar trennbar und finden simultan statt. Gärbehälter werden als Hydrolyse(-Stufe) bezeichnet, wenn darin vornehmlich Hydrolyse und Acidogenese, aber keine Methanbildung stattfinden.

**Hygienisierung:** Verfahrensschritt zur Reduzierung und/oder Eliminierung von Seuchenerregern und/oder Phytopathogenen.

**Input:** Gesamtheit der dem Fermentersystem zugeführten Substrate.

**Installierte Leistung:** Summe der Nennleistung (Maximalleistung) aller auf einer Biogasanlage installierten BHKW.

**Kalkulatorische Kosten:** Kosten, die nicht mit realen Geldströmen (aus der Gewinn- und Verlustrechnung) übereinstimmen. Als kalkulatorischer Gewinn wird die Differenz aus Leistungen und Kosten bezeichnet.

**Kjeldahl-Stickstoff:** Gesamtgehalt an organischen Stickstoffverbindungen in Substrat oder Gärrest, bestimmt nach der Methode von Kjeldahl.

**Kondensat:** Im Fermenter entstandenes Biogas ist wasserdampfgesättigt und muss vor Verwertung im BHKW entwässert werden. Die gezielte Kondensation des Wasserdampfs im Biogas erfolgt mittels einer ausreichend dimensionierten Erdleitung in einem

Kondensatabscheider oder über eine externe Gaskühlung. Die bei der Trocknung aufgefangene Flüssigkeit wird als Kondensat bezeichnet.

**Kraft-Wärme-Kopplung:** Gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische (oder mechanische) Energie und in Wärme, die zur energetischen Nutzung bestimmt ist (Nutzwärme).

**Landwirtschaftlich geprägtes Unternehmen:** Ein landwirtschaftlich geprägtes Unternehmen ist eine organisatorische Gesamteinheit von Produktionsfaktoren zur Erzeugung von einem oder mehreren Produkten und zur Erbringung von Leistungen in einem technisch und räumlich zusammenhängenden Bereich.

**Leistung:** pro Zeiteinheit verrichtete Arbeit

**mehrstufige Prozessführung:** Reihenschaltung mehrerer Gärbehälter mit dem Ziel höherer Methanausbeute und besserer Prozessstabilität. Dabei gibt es zwei Varianten: Variante 1: Reihenschaltung von Reaktoren, in denen alle mikrobiellen Abbauschritte gleichzeitig ablaufen; Variante 2: räumliche Trennung der Hydrolyse (und Versäuerung) von der syntrophen Methanogenese (auch als mehrphasige Prozessführung bezeichnet).

**mesophil** Bezeichnet die Eigenschaft von Mikroorganismen, im mittleren Temperaturbereich den für sie optimalen Stoffwechsel zu betreiben. Gärbehälter im mesophilen Temperaturbereich werden zwischen 35 und 42°C betrieben.

**Methanausbeute:** Erzielte Methanmenge [m<sup>3</sup>] bezogen auf eine zugeführte Menge an Biomasse (Angabe in kg<sub>oTS</sub>, kg<sub>FoTS</sub>, etc.) → Relative Methanausbeute.

**Methan-Nutzungsgrad:** Prozentuales Verhältnis der zur externen Nutzung abgegebenen Energie (= erzeugte elektrische Energie abzüglich Stromeigenbedarf plus abgesetzte Wärmemenge) und der Feuerungsenergie (= Heizwert des Methanertrags).

**Methanogenese:** mikrobielle Methanbildung entweder aus Essigsäure oder CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>.

**Methanproduktivität:** Quotient aus Methanertrag pro Zeiteinheit und dem Arbeitsvolumen aller beheizten Gärbehälter.

**Nachgärer** (in der Praxis gelegentlich auch: „Nachfermenter“): Beheizter, gasdichter Gärbehälter der bei mehrstufigen Biogasanlagen nach dem Fermenter angeordnet ist. Ist der „Nachgärer“ unbeheizt, handelt es sich im engeren Sinne um ein Gärrestlager.

**Nachwachsende Rohstoffe:** Sammelbegriff für stofflich und energetisch genutzte Biomasse, i. d. R. landwirtschaftlich erzeugte pflanzliche Rohstoffe oder im Zuge der Ernte anfallende Nebenprodukte.

**Organische Trockensubstanz (oTS):** organischer Anteil der Trockensubstanz. Wird durch Veraschen des Materials bei 550°C bestimmt

**Biogas- bzw. Methanproduktivität:** pro m<sup>3</sup> Arbeitsvolumen und Tag produzierte Menge an Biogas bzw. Methan.

**Pagatorische Kosten:** Kosten, die durch reale Auszahlungsströme verursacht (zahlungswirksam) werden.

**psychrophil:** Bezeichnet die Eigenschaft von Mikroorganismen im Temperaturbereich deutlich unterhalb von 35°C den für sie optimalen Stoffwechsel zu betreiben.

**Puffer:** Eigenschaft eines Säure-/Basenpaares, H<sup>+</sup>- bzw. OH<sup>-</sup>-Ionen unter nur geringfügiger Änderung des pH-Werts zu binden. Die stärkste Pufferung tritt am sogenannten Äquivalenzpunkt auf, an welchem der pH gleich dem pK<sub>s</sub> des Säure-/Basenpaares ist.

**Pufferkapazität:** Vermögen eines Systems, H<sup>+</sup>- bzw. OH<sup>-</sup>-Ionen zu binden und so den pH-Wert stabil zu halten. Im Biogasreaktor bilden vor allem das „Karbonatpuffersystem“ und bei hohen Ammoniumgehalten das „Ammoniumpuffersystem“ die Pufferkapazität.

**Raumbelastung:** täglich pro m<sup>3</sup> Arbeitsvolumen zugeführte Menge an oTS

**Relative Biogas-/Methanausbeute:** prozentuales Verhältnis des erzielten Biogas-/Methanertrags (gemessen oder aus BHKW-Strom berechnet) zum Biogas-/Methanertragspotential (im Biogasertragstest ermittelter oder nach verschiedenen Methoden (z. B. FoTS, Futterwertmodell) berechneter Erwartungswert).

**Repowering:** technische Ertüchtigung einer Biogasanlage mit dem Ziel erhöhter Strom- oder Wärmeproduktion.

**Restgaspotential:** nach dem Gärprozess im Gärrest noch enthaltenes Biogaspotential; wird nur Methan betrachtet spricht man von Restmethanpotential.

**Reststoffe:** Reste aus Landwirtschaft, Lebensmittelproduktion oder aus Grünschnitten, die stofflich keine weitere Verwendung haben.

**Spezifischer Biogas-/Methanertrag:** pro Masseneinheit (Angabe in Frischmasse, oTM, etc.) zugeführter Einsatzstoffe erzielter Biogas-/Methanertrag.

**Stromgestehungskosten:** Kosten (variable und fixe) pro Kilowattstunde produzierten Stroms.

**Stufe (einer Biogasanlage):** beheizter Gärbehälter einer Biogasanlage. Sind mehrere beheizte Gärbehälter miteinander verschaltet, werden bei der Anzahl der Stufen nur in Fließrichtung hintereinander geschaltete Gärbehälter gezählt; parallel geschaltete Gärbehälter zählen als eine Stufe.

**Substrat** (auch: Einsatzstoff): organisches und biologisch abbaubares Material, das mit dem Ziel der Biogasgewinnung zur Vergärung in einer Biogasanlage verwertet wird.

**thermophil:** Bezeichnet die Eigenschaft von Mikroorganismen, im Temperaturbereich von etwa 48 bis 55°C den für sie optimalen Stoffwechsel zu betreiben.

**Trockensubstanz (TS):** Anteil des Substrates oder Gärrestes, der nach dem Trocknen bei 105°C übrig bleibt.

**Verstromungsfaktor:** pro m<sup>3</sup> Biogas produzierte Strommenge, ohne Zündöl.

**Volllaststunden:** Der Zeitraum, den das BHKW theoretisch benötigt, um die real produzierte Strommenge unter Volllast zu produzieren.

**Vorgrube:** der Biogasproduktion vorgelagerter Behälter zur Aufbewahrung und/oder Anmischung von pumpfähigem Material ohne Beheizung und gasdichte Abdeckung.

**Wirkungsgrad:** prozentualer Anteil der produzierten an der zugeführten Energiemenge (Strom bzw. Wärme).

**Wirtschaftsdünger:** tierische Abfallstoffe, die zur Biogasproduktion verwendet werden und unter den Güllebonus im EEG 2009 fallen.

**Zündölanteil:** Beitrag des Zündöls an der Zufuhr an Gesamtenergie (= Feuerungsenergie) zum BHKW.

## 13 Literatur und Quellenverzeichnis

Amon, Thomas; Bischoff, Manfred; Clemens, Joachim; Heuwinkel, Hauke; Keymer, Ulrich; Meißauer, Gabriele et al. (2015): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. 3. Aufl. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL, 107).

Aschmann, Volker; Effenberger, Mathias (2012): Verlauf des elektrischen Wirkungsgrades Biogas betriebener BHKW über die Betriebsdauer. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, FKZ: K/08/01. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Freising.

ASUE (Hg.) (2014): BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten (Bestellnummer: 05 1014). Essen: Verlag für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch.

Base Technologies (2006): Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potenziale zu dessen Reduzierung. In: Solarenergieförderverein Bayern e.V. (Hg.). München.

Beck, Jürgen (2012): Forschungsprojekt "BioMethan". Erhebung verfahrenstechnischer und wirtschaftlicher Kenngrößen, Entwicklung von Optimierungsstrategien und Alternativen, Erstellung von Planungsunterlagen; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben. Neuburg an der Donau.

Besgen, Simone (2005): Energie- und Stoffumsetzung in Biogasanlagen. Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen an landwirtschaftlichen Biogasanlagen im Rheinland. Dissertation. Bonn. Online verfügbar unter [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/landw\\_fak/2006/besgen\\_simone](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2006/besgen_simone).

BNetzA (2019): Gebotstermin 1. November 2019. Öffentliche Bekanntgabe der Zuschläge. Bundesnetzagentur. Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Ausschreibungen/Biomasse/Gebotstermin\\_01\\_11\\_2019/gebotstermin\\_0111\\_2019\\_node.html](https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Biomasse/Gebotstermin_01_11_2019/gebotstermin_0111_2019_node.html).

Born, Jens; Casaretto, Rainer (2012): Die theoretischen 100 Prozent geernteter Energie. In: *BIOGAS Journal* (2\_2012), S. 88–91.

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (F.N.R.).

Buschmann, A.; Schober, J.; Effenberger, M. (2013): Benchmarksystem für Biogasanlagen. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. FKZ. K/08/05. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising.

Daniel-Gromke, Jaqueline; Rensberg, Nadja; Denysenko, Velina; Barchmann, Tino; Oehmichen, Katja; Beil, Michael et al. (2020): Optionen für Biogas-Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht. Abschlussbericht. TEXTE 24/2020. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Forschungskennzahl 37EV 16 111 0). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>.

Djatkov, Djordje; Effenberger, Mathias; Lehner, Andreas; Martinov, Milan; Tesic, Milos; Gronauer, Andreas (2012): New method for assessing the performance of agricultural biogas plants. In: *Renewable Energy* 40 (1), S. 104–112. DOI: 10.1016/j.renene.2011.09.026.

Djatkov, Djordje; Effenberger, Mathias; Martinov, Milan (2014): Method for assessing and improving the efficiency of agricultural biogas plants based on fuzzy logic and expert systems. In: *Applied Energy* 134, S. 163–175. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.08.021.

DLG (Hg.) (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. Ein Leitfaden für die Praxis; Vorschlag für bundeseinheitliche Gestaltungen von Betriebszweigabrechnungen auf der Grundlage des BMVEL-Jahresabschlusses. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. 2., vollst. überarb. Neuaufl. Frankfurt am Main: Deutsche Landwirtschafts-Ges (Arbeiten der DLG, 197).

DLG (2006): Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Einheitliche Abrechnung und Erfolgskennzahlen für Biogasanlagen aller Rechtsformen. Frankfurt am Main: DLG-Verl. (Arbeiten der DLG, N.F., 200).

Effenberger, M.; Kissel, R.; Lehner, A.; Gronauer, A. (2008): Verfahrenstechnische Bewertung landwirtschaftlicher Biogasanlagen - Auslastung und energetische Effizienz/Technical Assessment of Agricultural Biogas plants - Utilization Ratio and Energy Efficiency. In: *Landtech./Agric. Eng.* 63 (5), 290-292a.

Effenberger, Mathias; Buschmann, Andreas; Schober, Josef; Djatkov, Djordje (2014): Webbasierte Schwachstellenanalyse an landwirtschaftlichen Biogasanlagen. In: *Landtechnik* 69 (2), S. 90–96. DOI: 10.1515/lt.2014.177.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2009): Biogasmessprogramm II. 61 Biogasanlagen im Vergleich. Johann Heinrich von Thünen-Institut; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. 1. Aufl. Hannover, Gülzow bei Güstrow: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. Online verfügbar unter <https://edocs.tib.eu/files/e01fb10/62358767X.pdf>.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2016): Leitfaden Biogas. Von der Gewinnung zur Nutzung. 7. Auflage. Rostock: Druckerei Weidner (Bioenergie).

Feess, E.; Lackes, R.; Siepermann, M.; Steven, M.; Thommen, J.-P.; Kamps, U. (2014): Gabler Wirtschaftslexikon. Effizienz. 18., aktualisierte und erw. Aufl. Hg. v. Stefanie Brich. Wiesbaden: Springer Gabler.

Fischer, Elmar; Postel, Jan; Ehrendreich, Florian; Nelles, Michael (2016): Energetische Bewertung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mithilfe des mittleren Brennstoffausnutzungsgrades. In: *Landtechnik* 71 (4), S. 139–154. DOI: 10.1515/lt.2016.3132.

Fischer, Elmar; Uhl, C.; Scholwin, Frank (2009): Untersuchungen zum Vergleich der Stoff- und Energieflüsse von Biogasanlagen zur Vergärung nachwachsender Rohstoffe. In: Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science. Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science. Erding, 02.-04.12.2009. Freising (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft).

Gagliano, M. C.; Braguglia, C. M.; Gallipoli, A.; Gianico, A.; Rossetti, S. (2015): Microbial diversity in innovative mesophilic/thermophilic temperature-phased anaerobic digestion of sludge. In: *Environmental science and pollution research international* 22 (10), S. 7339–7348. DOI: 10.1007/s11356-014-3061-y.

Guo, Xiaohui; Wang, Cheng; Sun, Faqian; Zhu, Weijing; Wu, Weixiang (2014): A comparison of microbial characteristics between the thermophilic and mesophilic anaerobic digesters exposed to elevated food waste loadings. In: *Bioresour. Technol.* 152, S. 420–428. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.11.012.

Haynes, W. M. (Hrsg.) (2012): CRC handbook of chemistry and physics. A ready-reference book of chemical and physical data. 93. Aufl. Boca Raton: CRC Press.

Henkelmann, Günter; Meyer zu Köcker, Kirsten; Götz, Josef; Beck, Jürgen (2012): Schlüsselparameter zur Kontrolle des Gärprozesses und Motivation, Voraussetzung und Möglichkeiten für die Prozessüberwachung? Freising-Weihenstephan (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 2010,7).

Lenz, Volker; Naumann, Karin; Denysenko, Velina; Daniel-Gromke, Jaqueline; Rensberg, Nadja; Janczik, Sebastian et al. (2019): Erneuerbare Energien. In: *BWK: Das Energie-Fachmagazin* 71 (6), S. 60–88. Online verfügbar unter <https://www.energiefachmagazin.de/2019/Ausgabe-06/Jahresuebersichten-1/Erneuerbare-Energien>.

Liebetrau, Jan; Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (Hg.) (2015): Messmethodensammlung Biogas. Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich. 2. Aufl. Leipzig: DBFZ (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung", 7). Online verfügbar unter [https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/07\\_Messmethodensamm\\_Biogas\\_web.pdf](https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/07_Messmethodensamm_Biogas_web.pdf).

Lindorfer, H. (2007): Optimised digestion of energy crops and agricultural residues in rural biogas plants. Dissertation: Universität für Bodenkultur Wien.

Macha, Roman (2011): Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung. München: Vahlen. Online verfügbar unter <https://elibrary.vahlen.de/10.15358/9783800643097/grundlagen-der-kosten-und-leistungsrechnung>.

Mächtigt, Torsten; Moschner, Christian R.; Hartung, Eberhard (2019): Monitoring the efficiency of biogas plants – Correlation between gross calorific value and anaerobically non-degradable organic matter of digestates. In: *Biomass and Bioenergy* 130, S. 105389. DOI: 10.1016/j.biombioe.2019.105389.

Oechsner, Hans-Werner; Lemmer, Andreas; Ramhold, Dietmar; Mathies, Edmund; Mayrhuber, Elisabeth; Preissler, Daniel (2007): Method for producing biogas in controlled concentrations of trace elements. Angemeldet durch ISF GmbH am 29.05.2007. Anmeldenr: US20080602045 20080529. Veröffentlichungsnr: US20100304457A1.

Perridon, Louis; Steiner, Manfred; Rathgeber, Andreas W. (2012): Finanzwirtschaft der Unternehmung. 16., überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.15358/9783800649006>.

Postel, Jan; Fischer, Erik; Barchmann, Tino; Rensberg, Nadja; Stur, Mathias (2017): Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen. Energetische Effizienz von Repoweringmaßnahmen. Förderkennzeichen: 22400912 (Schlussbericht). Leipzig: DBFZ (DBFZ-Report, 28).

Rieger, Christina; Weiland, Peter (2006): Prozessstörungen frühzeitig erkennen. In: *BIOGAS Journal* (4), S. 18–20.

Ruile, Stephan; Schmitz, Sabine; Mönch-Tegeder, Matthias; Oechsner, Hans (2015): Degradation efficiency of agricultural biogas plants--a full-scale study. In: *Bioresourcetechnology* 178, S. 341–349. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.10.053.

Scheffelowitz, Mattes; Thrän, Daniela; Liebetrau, Jan; Lenz, Volker; Lauer, Markus; Dotzauer, Martin et al. (2018): Stellungnahme zum EEG 2017. DBFZ. Leipzig. Online verfügbar unter [https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Statements/Stellungnahme\\_DBFZ\\_EEG\\_2017.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Statements/Stellungnahme_DBFZ_EEG_2017.pdf).

Siebert, Gunnar; Kempf, Stefan (2012): Benchmarking. Leitfaden für die Praxis. 1. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag.

Simon, Fabian (2019): Zinsen verständlich & knapp definiert. Online verfügbar unter <https://www.rechnungswesen-verstehen.de/lexikon/zinsen.php>.

Statistisches Bundesamt (2019): Preise. Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) - Preise für leichtes Heizöl, Motorenbenzin und Dieselmotorenkraftstoff. Lange Reihen ab 1976 bis November 2019. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden. Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erzeugerpreisindex-gewerbliche-Produkte/Publikationen/Downloads-Erzeugerpreise/erzeugerpreise-preisreihe-heizoel-pdf-5612402.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erzeugerpreisindex-gewerbliche-Produkte/Publikationen/Downloads-Erzeugerpreise/erzeugerpreise-preisreihe-heizoel-pdf-5612402.pdf?__blob=publicationFile).

Strobl, Martin (2011): Handbuch Betriebszweigabrechnung für Biogasanlagen. Einzelbetriebliches Controlling für Praxis und Beratung. Sankt Augustin: HLBS-Verl.

Strobl, Martin; Keymer, Ulrich (2016): Biogasausbeute mobil. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. München. Online verfügbar unter <https://www.lfl.bayern.de/appl/biogas/ausbeute/>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

VDLUFA (2011): Das VDLUFA Methodenbuch. Band VII. Umweltanalytik. 4. Auflage. Darmstadt: VDLUFA-Verlag.

Verein Deutscher Ingenieure (2006): Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Berlin: Beuth (VDI-Richtlinien, 4630).

Verein Deutscher Ingenieure (2008): Gütekriterien für Biogasanlagen. Dezember 2008. Berlin: Beuth (VDI-Richtlinien, 4631).

Verein Deutscher Ingenieure (2014): Energiekenngrößen - Grundlagen - Methodik. Berlin: Beuth (VDI-Richtlinien, 4661).

Völler, Klaus; Reinholz, Toni (2019): dena-ANALYSE. Branchenbarometer Biomethan 2019. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Analyse\\_Branchenbarometer\\_Biomethan\\_2019.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Analyse_Branchenbarometer_Biomethan_2019.pdf).

Weinrich, Sören; Murphy, Jerry D. (2018): Value of batch tests for biogas potential analysis. Method comparison and challenges of substrate and efficiency evaluation of biogas plants. [Dublin?]: IEA Bioenergy.

Weinrich, Sören; Weißbach, F.; Pröter, Jürgen; Liebetrau, Jan; Nelles, Michael (2014): Massenbilanzierung von Biogasanlagen. Möglichkeiten und Herausforderungen zur Effizienzbewertung von Biogasanlagen. In: Michael Nelles (Hg.): 8. Rostocker Bioenergieforum. 19. und 20. Juni 2014 an der Universität Rostock. Tagungsband. 8. Rostocker Bioenergieforum. Rostock, 19.-20.06.2014. Rostock: Univ., Professur Abfall- und Stoffstromwirtschaft (Schriftenreihe Umweltingenieurwesen, 45), S. 369–379.

Weißbach, Friedrich (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. In: *Landtechnik* 63 (6), S. 356–358. DOI: 10.1515/lt.2008.880.

Weißbach, Friedrich (2009a): Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben bei der Biogasgewinnung. In: *Landtechnik* 64 (6), S. 394–397. DOI: 10.1515/lt.2009.701.

Weißbach, Friedrich (2009b): Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung. In: *Landtechnik* 64 (5), S. 317–321. DOI: 10.1515/lt.2009.683.

Weißbach, Friedrich (2011a): Das Gasbildungspotenzial von Schweinegülle bei der Biogasgewinnung. In: *Landtechnik* 66 (6), S. 460–464. DOI: 10.15150/lt.2011.442.

Weißbach, Friedrich (2011b): Gasbildungspotenzial von Gülle und Stallmist. In: 5. Rostocker Bioenergieforum.

Weißbach, Friedrich (2012): Das Gasbildungspotenzial von Hühnertrockenkot bei der Biogasgewinnung. In: *Landtechnik* 67 (4), S. 299–304. DOI: 10.15150/lt.2012.315.

Weißbach, Friedrich; Strubelt, Cornelia (2008a): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Grassilagen als Substrat für Biogasanlagen. 210–211 Seiten / LANDTECHNIK, Bd. 63 Nr. 4 (2008). DOI: 10.15150/lt.2008.818.

Weißbach, Friedrich; Strubelt, Cornelia (2008b): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. 82–83 Seiten / LANDTECHNIK, Bd. 63 Nr. 2 (2008). DOI: 10.15150/lt.2008.779.

Weißbach, Friedrich; Strubelt, Cornelia (2008c): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Zuckerrübensilagen als Substrat für Biogasanlagen. 354–355 Seiten / LANDTECHNIK, Bd. 63 Nr. 6 (2008). DOI: 10.15150/lt.2008.879.

Westerholm, M.; Isaksson, S.; Karlsson Lindsjö, O.; Schnürer, A. (2018): Microbial community adaptability to altered temperature conditions determines the potential for process optimisation in biogas production. In: *Applied Energy* 226, S. 838–848. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.06.045.