

# Faustzahlen Biogas

3. Ausgabe



## Autoren

Die Anschriften der Autoren sind im Personenverzeichnis aufgeführt.

Für die Entscheidungen, die auf Basis der Angaben in dem Buch „Faustzahlen Biogas“ getroffen werden und deren Folgen, schließen die Herausgeber jegliche Haftung aus.

© 2013, 3. Ausgabe

### Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)  
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt  
Telefon +49 6151 7001-0 | Fax +49 6151 7001-123 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de)  
[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189  
[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

### Satz

KTBL | Darmstadt

### Redaktion

Werner Achilles, Mark Paterson, Monika Pikart-Müller,  
Monika Stadelmann | KTBL, Darmstadt

### Titelfotos

Landpixel, Rosdorf; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena;  
Mark Paterson | KTBL, Darmstadt

### Druck und Bindung

Silber Druck oHG | Niestetal

Printed in Germany

978-3-941583-85-6

## Vorwort

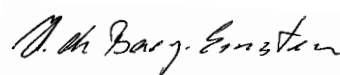
Mit der Herausgabe der 3. Ausgabe der Faustzahlen Biogas setzen die beiden vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) geförderten Einrichtungen, das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) und die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), ihre gute Zusammenarbeit fort.

Die seit 2007 vom KTBL veröffentlichten Faustzahlen Biogas haben sich in den vergangenen zwei Auflagen als anerkannte Informationsquelle mit großer Nachfrage in der Branche etabliert. Aufgrund der Weiterentwicklung der Biogastechnologie sowie der sich stetig ändernden rechtlichen wie ökonomischen Rahmenbedingungen wurde die 2. Auflage von 2009 entsprechend dem aktuellen Entwicklungsstand überarbeitet.

Die Faustzahlen Biogas enthalten die wichtigsten Daten und Fakten zu Biogas in landwirtschaftlichen Anlagen. Aufbauend auf den Informationen zur Entwicklung des Biogassektors und den technisch-biologischen Grundlagen werden Aspekte der Biogaserzeugung und -nutzung, der Substratbereitstellung, der Gärrestverwertung, der Wirtschaftlichkeit und der Wirkung auf die Umwelt dargestellt. Der Abschnitt „Biogas in Kürze“ ermöglicht dem Leser, auf wenigen Seiten, die wichtigsten Kennzahlen für den landwirtschaftlichen Biogassektor zu überblicken. Mit den Faustzahlen Biogas liefern wir komprimiertes Fachwissen für alle Interessierte aus Landwirtschaft, Beratung, Ausbildung und Politik.

Den beteiligten Experten aus dem Ehrenamt sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in der KTBL-Geschäftsstelle, die diese Neuausgabe erarbeitet haben, gilt unser besonderer Dank.

Kuratorium für Technik und Bauwesen  
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)



DR. HEINRICH DE BAEY-ERNSTEN

Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e.V. (FNR)



DR.-ING. ANDREAS SCHÜTTE

## Inhalt

I	LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOGASANLAGEN IN DEUTSCHLAND .....	11
II	BIOGASPRODUKTION .....	18
1	Allgemeines .....	18
2	Nassvergärung .....	20
2.1	Allgemeines .....	20
2.2	Substrataufbereitung .....	20
2.2.1	Übersicht der Verfahren zur Substrataufbereitung (Desintegration) .....	21
2.2.2	Verfahren zur Aufbereitung von Biomasse .....	24
2.3	Substratförderung und -einbringung .....	27
2.3.1	Allgemeines .....	27
2.3.2	Feststoffeintragssysteme .....	27
2.3.3	Eintragungssysteme für pumpfähige Substrate .....	32
2.3.4	Fest-Flüssig-Eintragssysteme .....	34
2.3.5	Beispiele für Substrateintrags- und Fördersysteme .....	35
2.4	Fermenterbauarten .....	36
2.4.1	Allgemeines .....	36
2.4.2	Materialverwendung im Behälter- und Fermenterbau .....	38
2.4.3	Wirtschaftliche Kennwerte von Fermentern .....	40
2.4.4	Oberflächenbeschichtung von Fermentern .....	41
2.5	Fermenterdämmung .....	42
2.6	Armaturen und Rohrleitungen .....	43
2.7	Leckageerkennungssystem .....	47
2.8	Substrathomogenisierung .....	49
2.9	Fermenterheizungssysteme .....	57
2.10	Hygenisierung von Biomassen .....	59
2.11	Sedimentaustrag .....	61
3	Feststoffvergärung .....	62
3.1	Allgemeines .....	62
3.2	Diskontinuierliche Verfahren .....	63
3.3	Kontinuierliche Verfahren .....	65
4	Sonderverfahren .....	66
4.1	Gülle-Kleinanlagen .....	66
4.2	Festbettfermenter .....	68
5	Biogasspeicherung .....	70
5.1	Allgemeines .....	70
5.2	Interne Biogasspeicher .....	71
5.3	Externe Biogasspeicher .....	73

6	Verfahrens- und prozesstechnische Auslegungsgrößen	76
7	Messtechnik für Biogasanlagen	83
8	Sicherheitstechnik	89
9	Betriebsstörungen an Biogasanlagen	94
<b>III</b>	<b>SUBSTRATE</b>	<b>98</b>
1	Anfallmengen von Substraten	98
2	Substrate aus Wirtschaftsdüngern und tierischen Nebenprodukten	100
3	Energiepflanzen	104
3.1	Sorteneigenschaften, Standortansprüche und Nachernteverfahren von Energiepflanzen	105
3.2	Kennwerte zur Produktion und Kosten von Energiepflanzen	108
3.3	Substratlagerung	113
<b>IV</b>	<b>GASAUSSBEUTE AUS SUBSTRATEN</b>	<b>125</b>
1	Methoden zur Ermittlung der Gasausbeute	125
1.1	Batchversuche	125
1.2	Kontinuierliche Versuche	126
1.3	Rechenmodelle	127
1.4	Berechnung von Normvolumen	130
2	Bezugsgrößen für den Energieertrag	131
3	Richtwerte für Gasausbeuten	132
3.1	Zusammensetzung von Biogas	132
3.2	Richtwerte und Laborergebnisse für Gasausbeuten wichtiger Biogassubstrate	132
3.3	Umrechnung der Gaserträge auf die Frischmasse und abweichende Trockenmassegehalte	136
3.4	Gasausbeuten gemäß Biomasseverordnung	136
4	Einflussfaktoren auf die Gasausbeute	141
4.1	Einfluss von Gärsubstrat	141
4.2	Technische Faktoren	143
4.3	Relative Substratausnutzung	146
<b>V</b>	<b>BIOLOGIE UND STEUERUNG DES VERGÄRUNGSPROZESSES</b>	<b>148</b>
1	Ablauf der Biogasbildung	148
2	Stabilität des Gärprozesses	153
3	Erkennen von Prozessstörungen	160
4	Inbetriebnahme und Anfahrphase einer Biogasanlage	165

<b>VI</b>	<b>BIOGASVERWERTUNG</b>	<b>167</b>
1	Allgemeines	167
2	Stromerzeugung	167
2.1	Blockheizkraftwerke (BHKW)	167
2.2	Mikrogasturbine	174
2.3	Brennstoffzelle	177
3	Auskopplung und Nutzung der BHKW-Wärme	179
3.1	Nutzung der Wärme zur Beheizung von Gebäuden und Gewerbebetrieben	180
3.1.1	Kennwerte für Nahwärmenetze, Gebäude und nicht landwirtschaftliche Gewerbebetriebe	180
3.1.2	Kosten für die Wärmeverteilung im Nahwärmenetz	183
3.2	Nutzung der Wärme im Gartenbau sowie in der Land- und Forstwirtschaft	186
3.2.1	Beheizung von Unterglaskulturen	188
3.2.2	Druschfruchttrocknung	190
3.2.3	Trocknung von Brennholz	192
3.2.4	Beheizung von Ställen	195
3.3	Stromerzeugung aus BHKW-Wärme mit Organic-Rankine-Cycle-Anlagen und Clausius-Rankine-Cycle-Anlagen	196
3.4	Nutzung der Wärme zur Kühlung	199
3.4.1	Kälteanlagen	199
3.4.2	Milchkühlung	203
3.4.3	Kühlung von Obst und Gemüse	205
4	Biogasaufbereitung zur Einspeisung ins Erdgasnetz	206
4.1	Allgemeines	206
4.2	Anforderungen an das einzuspeisende Biogas	207
4.3	Verfahren zur Aufbereitung von Biogas	209
4.3.1	Druckwasserwäsche (DWW)	211
4.3.2	Druckwechseladsorption (PSA)	213
4.3.3	Aminwäsche	214
4.3.4	Organisch-physikalische Wäsche (PEG-Wäsche)	216
4.3.5	Membrantrennverfahren	216
4.3.6	Tieftemperaturverfahren (kryogene Verfahren)	217
4.3.7	Vergleich der Aufbereitungsverfahren	217
5	Nutzung von Biogas als Kraftstoff	220
5.1	Gasförmige und flüssige Kraftstoffe im Vergleich	220
5.2	Tankstellen und Betankungssysteme	222

<b>VII</b>	<b>GÄRPRODUKTE</b> .....	<b>227</b>
1	Lagerung von Gärprodukten .....	227
1.1	Lagerung von flüssigen Gärprodukten .....	227
1.2	Homogenisieren und Fördern von Gärprodukten .....	229
1.3	Minderung von Ammoniakemissionen bei der Lagerung von Gärprodukten .....	231
1.4	Lagerung von stapelbaren Gärprodukten (separierte Feststoffe und Gärprodukte aus der Feststoffvergärung) ..	233
1.5	Investitionsbedarf Gärproduktlager .....	235
2	Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten .....	236
2.1	Ziele der Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten .....	236
2.2	Verfahren der Behandlung und Aufbereitung von Gärprodukten .....	237
2.2.1	Separation .....	237
2.2.2	Verfahren zur Aufbereitung der Festphase .....	240
2.2.3	Verfahren zur Aufbereitung der Flüssigphase .....	242
2.3	Planungsbeispiele für die Aufbereitung von 30 000 m <sup>3</sup> Gärprodukt ..	247
3	Düngung mit Gärprodukten .....	250
3.1	Ableitung und Berechnung von Gärprodukteigenschaften .....	250
3.2	Nährstoffwirkung und Nährstoffbilanz .....	253
3.2.1	Ammoniakverluste, Emissionsminderung und Stickstoffwirkung .....	253
3.2.2	Nährstoffbilanz .....	257
3.3	Humusbilanz .....	260
4	Minderung von Methanemissionen bei der Lagerung von flüssigen Gärprodukten durch Gärproduktlagerabdeckung .....	261
5	Hygiene und Schadstoffe .....	264
<b>VIII</b>	<b>Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen</b> .....	<b>272</b>
1	Erträge aus dem Stromverkauf nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) .....	272
2	Modellanlagen .....	276
2.1	Annahmen für die Modellanlagen .....	278
2.2	Leistungs-Kostenrechnung .....	284
2.3	Sensitivitätsanalyse .....	297
2.4	Biomassebereitstellungs- und Gärrestausbringungskosten .....	299
2.5	Auswirkung von Mechanisierung, Schlaggrößen und Wegstrecken auf die Feldflächenleistung und die Kosten der Substraternte und der Gärrestausbringung .....	300

<b>IX</b>	<b>ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DER BIOGASERZEUGUNG</b> .....	<b>304</b>
1	Energieaufwand und Energieertrag beim Energiepflanzenanbau .....	304
2	Treibhausgasbilanzen .....	305
2.1	Quellen für Treibhausgase bei der Biogaserzeugung .....	305
2.2	Treibhausgasemissionen und -bilanzen landwirtschaftlicher Biogasanlagen .....	306
2.2.1	Treibhausgasbilanzen und -vermeidungskosten von Modellanlagen mit Vor-Ort-Verstromung .....	307
2.2.2	Treibhausgasemissionen der Modellanlagen mit Biogasaufbereitung zu Biomethan .....	310
2.3	Einflussfaktoren auf die Treibhausgasbilanz von Biogasanlagen .....	310
2.3.1	Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen als Substrat .....	311
2.3.2	Auskoppelung von Wärme .....	313
2.3.3	Abdeckung des Gärrestlagers .....	314
2.3.4	Indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC) .....	315
3	Ökologische Bilanzierung der Biogaserzeugung .....	316
4	Zusammenfassung der Emissionsquellen und der ökologischen Effekte .....	318
<b>X</b>	<b>BIOGAS IN KÜRZE</b> .....	<b>322</b>
<b>XI</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>341</b>
	Abkürzungen .....	341
	SI-Präfixe .....	347
	Elemente und Verbindungen .....	348
	Stichworte .....	350
	Personenverzeichnis .....	355
	KTBL-Veröffentlichungen .....	356
	aid Veröffentlichungen .....	360

## I LANDWIRTSCHAFTLICHE BIOGASANLAGEN IN DEUTSCHLAND

## Primärenergieverbrauch in Deutschland von 2008 bis 2012

Energieträger	Anteil am Primärenergieverbrauch [%]				
	2008	2009	2010	2011	2012 <sup>1)</sup>
Braunkohle	10,8	11,1	10,6	11,6	12,1
Erdgas	22,4	22,5	22,3	21,5	21,6
Erneuerbare Energien	8,0	8,9	9,9	10,8	11,6
Kernenergie	11,3	10,9	10,8	8,7	8,0
Mineralöl	34,1	34,3	32,9	33,6	33,1
Steinkohle	12,5	11,1	12,1	12,0	12,2
Sonstige <sup>2)</sup>	0,9	1,3	1,3	1,8	1,8

<sup>1)</sup> Angaben sind vorläufig.

<sup>2)</sup> Sonstige Energieträger: Grubengas, nicht erneuerbare Abfälle und Abwärme sowie der Strom-austauschsaldo.

AG EB (2012): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland bis 2011 (Stand September 2012). [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de), Zugriff Juni 2013

AG EB (2013): Primärenergieverbrauch (Stand Mai 2013). [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de), Zugriff Juni 2013

Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien und Anteil am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2012<sup>1)</sup>

Stromerzeugung	Endenergie TWh	Anteil an der Gesamtstrom- erzeugung aus EE	Anteil am Endenergie- verbrauch (Strom)
		%	
<b>Biomasse, insgesamt</b>	40,9	30,1	6,9
davon			
Biogas	20,5	15,1	3,5
biogener Anteil des Abfalls	4,9	3,6	0,8
biogene Festbrennstoffe	12,5	9,2	2,1
biogene flüssige Brennstoffe <sup>2)</sup>	1,1	0,8	0,2
Deponiegas	0,6	0,4	0,1
Klärgas	1,3	1,0	0,2
Geothermie	0,025	0,02	< 0,01
Photovoltaik	28,0	20,6	4,7
Wasserkraft	21,2	15,6	3,6
Windenergie	46,0	33,8	7,7
<b>Gesamtstromerzeugung aus EE</b>	<b>136,1</b>		<b>22,9</b>

<sup>1)</sup> Angaben sind vorläufig.

<sup>2)</sup> Inkl. Pflanzenöl.

BMU (2013): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 (Stand Februar 2013). [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de), Zugriff Juni 2013

Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien und Anteil am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2012<sup>1)</sup>

Wärmeerzeugung	Endenergie	Anteil an der Gesamtwärmeerzeugung aus EE	Anteil am Endenergieverbrauch (Wärme)
	TWh	%	
Biomasse, insgesamt	131,2	91,0	9,5
davon			
Biogas	11,3	7,8	0,8
biogener Anteil des Abfalls	8,4	5,8	0,6
biogene Festbrennstoffe	107,5	74,5	7,8
biogene flüssige Brennstoffe <sup>2)</sup>	2,7	1,9	0,2
Deponiegas	0,2	0,2	0,01
Klärgas	1,1	0,8	0,1
Oberflächennahe Geothermie	6,7	4,7	0,5
Solarthermie	6,1	4,2	0,4
Tiefengeothermie	0,3	0,2	0,02
<b>Gesamtwärmeerzeugung aus EE</b>	<b>144,3</b>		<b>10,4</b>

<sup>1)</sup> Angaben sind vorläufig.

<sup>2)</sup> Inkl. Pflanzenöl.

BMU (2013): Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 (Stand Februar 2013). [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de), Zugriff Juni 2013

### Bestand an Biogasanlagen in Deutschland von 2005 bis 2013

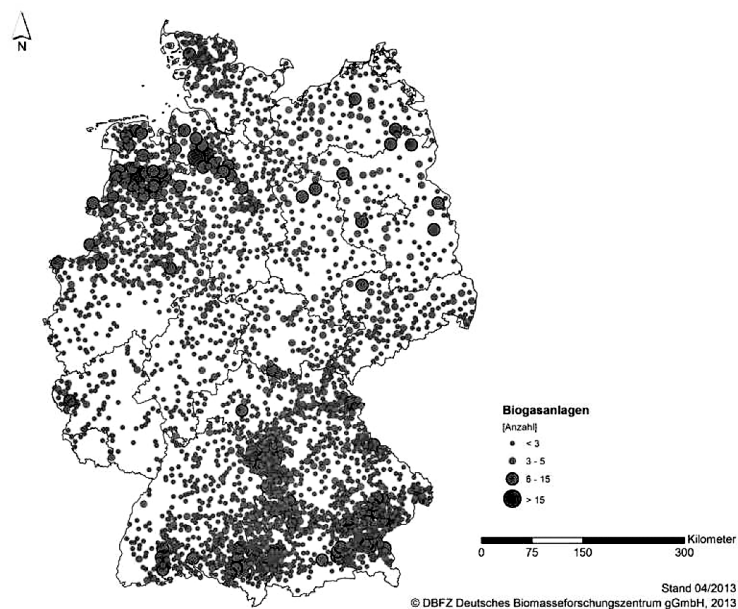
	Einheit	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013 <sup>1)</sup>
Anlagenanzahl	n	2 680	3 500	3 711	3 891	4 984	5 905	7 175	7 515	7 772
Anlagenleistung <sup>2)</sup>	MW <sub>el</sub>	650	1 100	1 271	1 377	1 893	2 291	3 097	3 352	3 530
Anlagenzubau	n	630	820	211	180	1 093	921	1 270	340	257
Leistungszubau <sup>2)</sup>	MW <sub>el</sub>	260	450	171	106	516	398	806	255	178

<sup>1)</sup> Prognose (Stand Mai 2013).

<sup>2)</sup> Inkl. der Stromspeisung durch Biomethan.

FvB (2013): Branchenzahlen 2012 und Prognose der Branchenentwicklung 2013 (Stand: 05/2013). [www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen/\\$file/13-05-22\\_Biogas%20Branchenzahlen\\_2012-2013.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/13-05-22_Biogas%20Branchenzahlen_2012-2013.pdf), Zugriff Juni 2013, verändert

Verteilung der in Betrieb befindlichen Biogasanlagen (inkl. Satelliten-BHKW) in Deutschland (Stand April 2013)



DBFZ (2013): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Leipzig

Anlagenzahl der Biogasanlagen in den Bundesländern, deren installierte elektrische Leistung sowie deren Anteil am Anlagenbestand 2012<sup>1)</sup>

Bundesland	Anzahl der Biogasanlagen (in Betrieb) <sup>2)</sup> n	Installierte elektrische Leistung			Anteil am Anlagenbestand %
		gesamt MW <sub>el</sub>	Ø <sup>3)</sup> kW <sub>el</sub>	anteilig %	
Baden-Württemberg	824	275	333	8,70	10,90
Bayern	2281	702	308	22,25	30,18
Brandenburg	335	182	543	5,77	4,43
Hamburg	1	1	1000	0,03	0,01
Hessen	185	63	341	2,00	2,45
Mecklenburg-Vorpommern	325	246	758	7,80	4,30
Niedersachsen	1480	780	527	24,72	19,58
Nordrhein-Westfalen	573	238	415	7,54	7,58
Rheinland-Pfalz	134	54	403	1,71	1,77
Saarland	13	4	333	0,14	0,17
Sachsen	201	84	416	2,65	2,66
Sachsen-Anhalt	277	165	596	5,23	3,67
Schleswig-Holstein	691	253	365	8,00	9,15
Thüringen	238	109	458	3,46	3,15
<b>Gesamt</b>	<b>7 558</b>	<b>3 155</b>	<b>418</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

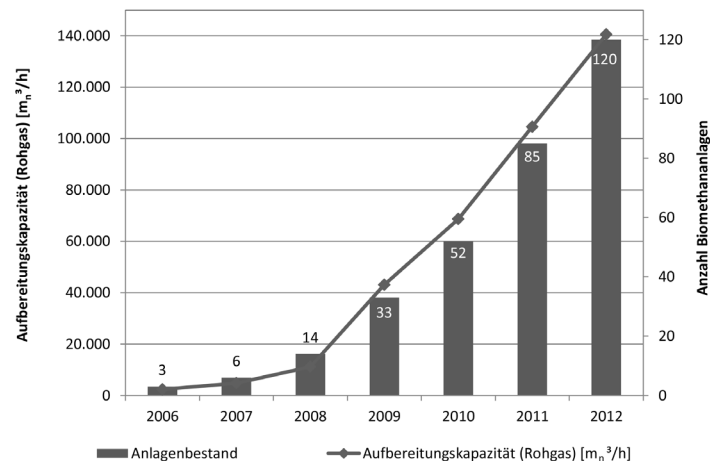
<sup>1)</sup> Schätzung (basierend auf Befragung der Länderinstitutionen).

<sup>2)</sup> Anzahl Biogasanlagen inkl. Satelliten-BHKW und excl. Biomethananlagen.

<sup>3)</sup> Bezogen auf die Betriebsstätten inkl. Satelliten-BHKW.

DBFZ (2013): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Leipzig, verändert

Entwicklung der Biomethananlagen in Deutschland



Entwicklung des Anlagenbestands und der der Aufbereitungskapazität (Rohgas) von Biogasaufbereitungsanlagen (kumuliert) im Zeitraum 2006–2012

KTBL (2012): Biomethaneinspeisung in der Landwirtschaft. KTBL-Schrift 495, Darmstadt, ergänzt um Beyrich, W. (2013): IWES, Kassel, persönliche Mitteilung

### Biogasproduktionsanlagen in Europa

In Europa waren 2011 rund 12 400 Biogas produzierende Anlagen in Betrieb. Dazu gehören landwirtschaftliche und gewerbliche Biogasanlagen, Kläranlagen und Deponien mit Gasfassung und -verwertung. Die Tendenz des Anlagenausbaus ist steigend.