

Ansprechpartner

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Bioenergieberatung

Hofplatz 1 • 18276 Gülzow

Tel.: 03843 / 6930-199 • Fax: 03843 / 6930-102

www.bio-energie.de • info@bio-energie.de

Fachverband Biogas e. V.

Angerbrunnenstraße 12 • 85356 Freising

Tel.: 08161 / 9846-60 • Fax: 08161 / 9846-70

www.biogas.org • info@biogas.org

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Bundesallee 50 • 38116 Braunschweig

Tel.: 0531 / 596-0 • Fax: 0531 / 596-4199

www.fal.de • info@fal.de

Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE)

Torgauer Straße 116 • 04347 Leipzig

Tel.: 0341 / 2434-112 • Fax: 0341 / 2434-133

www.ie-leipzig.de • info@ie-leipzig.de

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100 • 14469 Potsdam

Tel.: 0331 / 5699-111 • Fax: 0331 / 5699-849

www.atb-potsdam.de • atb@atb-potsdam.de

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

Bartningstraße 49 • 64289 Darmstadt

Tel.: 06151 / 7001-0 • Fax: 06151 / 7001-123

www.ktbl.de • ktbl@ktbl.de



Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende
Rohstoffe e. V. (FNR)

Hofplatz 1 • 18276 Gülzow

www.fnr.de • info@fnr.de

Gestaltung, Herstellung:

nova-Institut GmbH, Hürth

www.nova-institut.de/nr

Biogas Basisdaten Deutschland

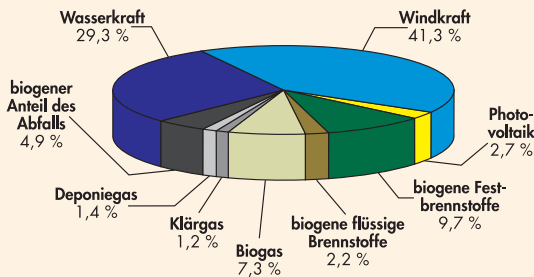
Stand: August 2007



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz



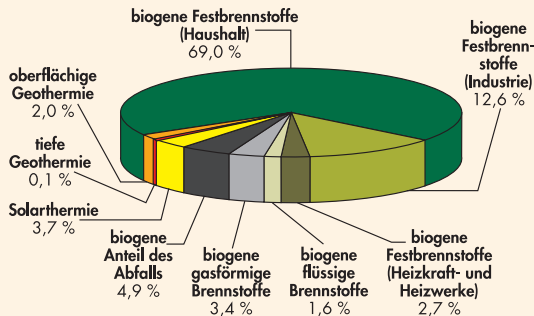
Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2006



Entspricht 12% (ca. 74 TWh) des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland.
Geothermische Stromerzeugung auf Grund geringer Strommengen nicht dargestellt.

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen (BMU, 2007)

Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien 2006



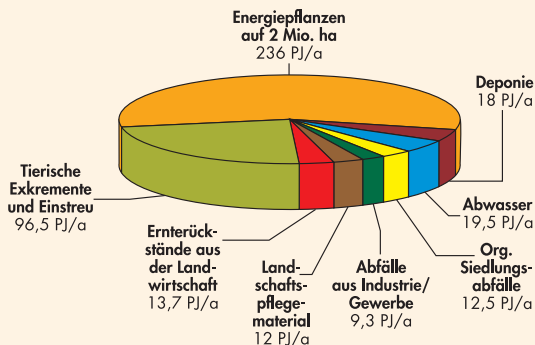
Entspricht 6% (ca. 89 TWh) des gesamten Wärmeverbrauchs in Deutschland.

Quelle: Erneuerbare Energien in Zahlen (BMU, 2007)

Biogaspotenzial

Die theoretische Gasmenge aus Bio-, Klär- und Deponiegas beträgt in Deutschland jährlich ca. 23–24 Mrd. m³, was einem Energiepotenzial von rund 417 Petajoule (PJ/a) entspricht. Dabei leistet das mögliche Biogasaufkommen des landwirtschaftlichen Sektors mit ca. 85% den größten Beitrag. Die potenziellen Gaserträge können zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Nutzbares Energiepotenzial

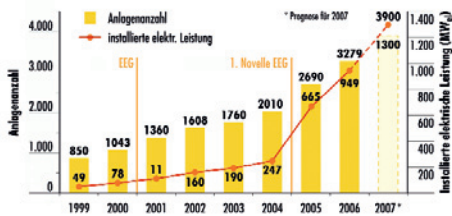


Quelle: Energie aus Biomasse (Hartmann / Kaltschmitt, 2002), überarbeitet FNR

Entwicklung des Anlagenbestands und der gesamten elektrisch installierten Leistung in Deutschland

Die derzeitige Entwicklung der Biogasnutzung ist maßgeblich auf das Erneuerbare-Energien-Gesetz zurück zu führen, das die Vergütung von Strom, u.a. aus Biomasse, gesetzlich festlegt. Betrug die durchschnittliche Anlagenleistung in Deutschland 1999 noch etwa 60 kW_{el}, so entwickelte sich diese über 125 kW_{el} (2004) auf nun über 300 kW_{el}.

Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung der Biogasanlagen



Quelle: Monitoring zur Wirkung des EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (BMU, 2007)

Durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas

Bestandteil	Formelzeichen	Gehalt (Vol.-%)
Methan	CH ₄	50 – 75
Kohlendioxid	CO ₂	25 – 45
Wasserdampf	H ₂ O	2 (20 °C) – 7 (40 °C)
Sauerstoff	O ₂	< 2
Stickstoff	N ₂	< 2
Ammoniak	NH ₃	< 1
Wasserstoff	H ₂	< 1
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	< 1

Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (FNR, 2006)

Anbau von verschiedenen Energiepflanzen auf einer Fläche von 200 Hektar und deren theoretisches Biogaspotenzial

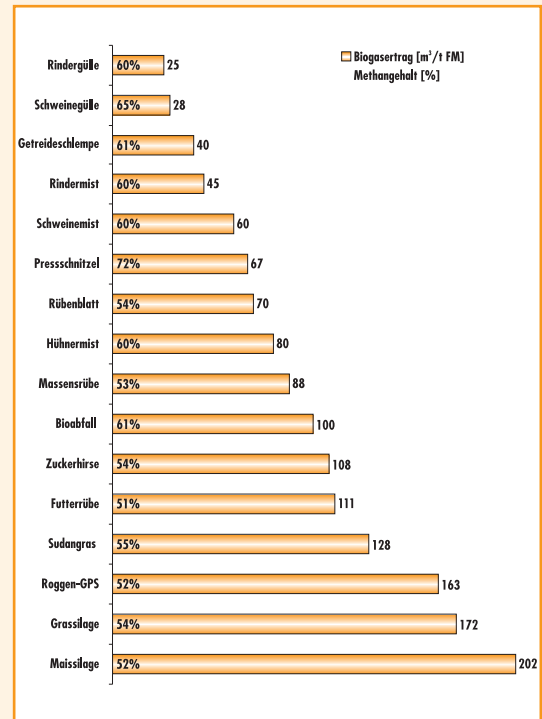
Energiepflanze	Ernteertrag	Biogasertrag	Größe BHKW
Maissilage	9.000 t _{FM}	1.600.000 m ³	360 kW _{el}
Sudangras	11.000 t _{FM}	1.240.000 m ³	300 kW _{el}
Grassilage	7.200 t _{FM}	1.090.000 m ³	260 kW _{el}
Roggen-GPS	5.200 t _{FM}	746.000 m ³	170 kW _{el}

Annahmen: einmalige Ernte/a; Lagerungsverluste der Silage: 12 %; BHKW Wirkungsgrad_{el}: 35 %; Bh: 8.000

Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (FNR, 2006); Datensammlung Energiepflanzen (KTBL, 2006)

Biogausbeute verschiedener Substrate zur Vergärung

Die Biogausbeute ist nicht nur substratspezifisch, sondern verhält sich auch unter den jeweils vorherrschenden Randbedingungen (wie z.B. hydraulische Verweilzeit, Temperatur, Anlagenbetriebsweise) unterschiedlich. Daher kommt es z.T. zu erheblichen Ertragsunterschieden für gleiche Substrate.



Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (FNR, 2006); Datensammlung Energiepflanzen (KTBL, 2006)

Die aufgeführten Biogaserträge (mit ihrem jeweiligen Methangehalt) sind in Kubikmeter Biogas pro Tonne frischer Biomasse [$\text{m}^3/\text{t}_{\text{FM}}$] angegeben und stellen lediglich eine Auswahl einer Vielzahl von einsetzbaren Biomassens dar. Es ist zu berücksichtigen, dass die Substrate unterschiedliche Trockensubstanz- (TS) und organische Trockensubstanz- (oTS) Gehalte aufweisen. Für weitere Berechnungen der Gaserträge sind die substratspezifischen TS- und oTS-Gehalte zu berücksichtigen.

Faustzahlen

1 m ³ Biogas	5,0 – 7,5 kWh _{gesamt}
1 m ³ Biogas	1,5 – 3 kWh _{el}
1 GV	6,6 – 35 t Gülle/a
1 GV	200 – 250 Methan/a
1 GV (Rinder / Schweine)	0,15 – 0,20 kW _{el}
1 ha Silomais	7.800 – 9.100 m ³ Biogas
1 ha Silomais	ca. 10 – 20 m ³ Faulraum
1 m ³ Methan	9,97 kWh
1 kWh	3,6 MJ ($3,6 \times 10^6$ Joule)
1 Mrd. kWh	3,6 PJ ($3,6 \times 10^{15}$ Joule)
BHKW Wirkungsgrad _{elektrisch}	30 – 40 %
BHKW Wirkungsgrad _{thermisch}	40 – 60 %
BHKW Wirkungsgrad _{gesamt}	ca. 85 %
BHKW-Laufzeit	7.500 – 8.000 Bh/a
Spezifische Investitionskosten	
- BHKW (Gasmotor) 150 kW _{el}	900 €/kW _{el}
- BHKW (Gasmotor) 250 kW _{el}	740 €/kW _{el}
- BHKW (Gasmotor) 500 kW _{el}	560 €/kW _{el}
- Biogasanlage bis 100 kW _{el}	5.000 – 3.000 €/kW _{el}
- Biogasanlage von 100 bis 350 kW _{el}	3.000 – 2.000 €/kW _{el}
- Biogasanlage über 350 kW _{el}	≤ 2.000 €/kW _{el}
Arbeitsbedarf	3 – 7 Akh/kW _{el} · a
Temp.-schwankungen in Fermenter	± 2 °C pro Tag
Optimaler FOS/TAC-Bereich	0,4 – 0,6

Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (FNR, 2006), FAL

Welchen Energiegehalt hat Biogas?

Der Energiegehalt korreliert mit dem Methananteil im Biogas. Dieser kann abhängig vom Substrat und Prozessablauf zwischen 50 und 75 % liegen. Ein Kubikmeter Methan hat einen Energiegehalt von rund 10 Kilowattstunden (9,97 kWh). Liegt der Methananteil im Biogas z.B. bei 55 %, so beträgt der energetische Nutzen von 1 m³ Biogas rund 5,5 kWh.

Heizwert:

5 – 7,5 kWh/m³ (abhängig vom Methan-Gehalt)
Durchschnitt: 6 kWh/m³ bzw. 21,6 MJ/m³ Heizöl

Heizöläquivalent:

1 m³ Biogas entspricht ca. 0,6 l Heizöl

Wichtige Prozessgrößen bei der Biogasproduktion

Benötigtes Fermentervolumen [m³]

= tägl. Substratzugabe [m³/d] · mittlere Verweilzeit [d]

Verweilzeit [d]

$$\text{HRT} = \frac{\text{Füllvolumen}_{\text{Fermenter}} [\text{m}^3]}{\text{Substratzugabe} [\text{m}^3/\text{d}]}$$

Raumbelastung [kg oTS/m³ · d]

$$B_R = \frac{\text{tägl. oTS-Zugabe} [\text{kg}/\text{d}]}{\text{Füllvolumen}_{\text{Fermenter}} [\text{m}^3]}$$

Trockenmasse [kg]

= Frischmasse [kg] - Wasseranteil [kg]

organische Trockenmasse [kg]

= Trockenmasse [kg] - Rohasche [kg]

Biogasertrag [m³]

= FM_{Substrat} [t] · TS [%] · oTS [%] · Ertrag [m³/t oTS]

Exemplarische Wirtschaftlichkeitsberechnungen für verschiedene Biogasanlagen

			55 kW Nawaro-Anlage	330 kW Nawaro-Anlage	500 kW Anlage*
Substrate	Viehbestand	GV	120	840	840
	Rindergülle	t _{FM} /a	2.160	9.360	9.360
	Schweinegülle	t _{FM} /a		3.456	3.456
	Futterreste	t _{FM} /a	22	95	95
	Grassilage	t _{FM} /a	400	1.500	
	Maissilage	t _{FM} /a	600	2.500	1.700
	Roggen 40 % Eigen; 60 % Zukauf	t _{FM} /a		500	1.500
	Fettabscheider	t _{FM} /a			1.000
	Speisereste	t _{FM} /a			3.000
techn. Parameter	Fermentervolumen	m ³	420	2.400	3.000
	Gasertrag	m ³ /a	233.490	1.319.724	1.919.534
	BHKW-Generatorleistung	kW _{el}	55 Zündstrahl	330 Gas-Otto	500 Gas-Otto
	Wirkungsgrad _{el}	%	33	39	40
	Betriebsstunden	h/a	8.000	8.000	8.000
	Stromproduktion, netto	kWh/a	397.276	2.286.584	3.484.732
	Wärmeerzeugung, netto	kWh/a	393.684	2.033.041	2.647.861
	Investitionen	Investition/m ³ Fermenter davon je 40 % Technikanteil zusätzlich Investition Motor	€/m ³ (€/kW)	564 (150)	286 (240)
Investitionskosten		€	245.130	765.600	1.100.000
NR-Anbau		€/a	36.016	195.255	243.082
Betriebskosten (Abschreibung, Zinsen, Versicherungen, Wartung, Zündöl)		€/a	39.770	109.778	158.116
Zukauf von Prozessenergie _{el}		€/a	1.228	14.595	26.229
Arbeitskräfteaufwand (15 €/h)		€/a	5.475	16.425	27.375
Summe Kosten		€/a	82.489	336.053	454.802
Erträge	Stromverkauf	€/a	71.674	407.797	391.979
	KWK-Bonus für externe Wärmenutzung	€/a	396	462	448
	Substituiertes Heizöl Wohnhaus, 40 ct/l	€/a	1.200	1.200	1.200
	Summe Erträge	€/a	73.270	409.459	393.627
Düngerwert	€/a	6.142	30.005	38.877	
Unternehmensgewinn	€/a	-3.077	103.411	-22.298	

Die Modellrechnung der 55 kW-Anlage fällt in erster Linie wegen der hohen Anschaffungs- und Substitutionskosten unrentabel aus. Die zweite Modellrechnung der 330 kW-Anlage ist aufgrund des Biomasse-Bonus hoch profitabel.

Bei der dritten Modellrechnung liegt der wesentliche Grund für den negativen Unternehmensgewinn bei der Nutzung von Abfällen, da hierfür kein Biomasse-Bonus nach EEG vergütet wird.

Allgemein gilt für die Anlagen, dass mögliche Einsparpotenziale bei den Rohstoffkosten liegen. Zusätzlich bieten die Anschaffungskosten ein Reduktionspotenzial von 10% und mehr. Wird der Prozess optimal geführt, sind durchaus Gaserträge erreichbar, die 10% über den Annahmen der Modellrechnungen liegen. Damit würden sich die Unternehmensgewinne verbessern.

Abkürzungen

a	Jahr	h	Stunde
Akh	Arbeitskraftstunde	ha	Hektar
Bh	Betriebsstunden	HRT	Verweilzeit (hydraulisch retention time)
BHKW	Blockheizkraftwerk	kW	Kilowatt
B _R	Raumbelastung	l _n	Normliter
ct	Eurocent	m ³	Kubikmeter
d	Tag	Mrd.	Milliarde(n)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz	MW	Megawatt
el.	elektrisch	oTS	organische Trockensubstanz
FM	Frischmasse	PJ	Petajoule
FOS/ TAC	Flüchtige organische Säuren/ Total anorganische Kohlenstoffe (C)	t	Tonne
GPS	Ganzpflanzensilage	th	thermisch
GV	Großvieheinheit	TS	Trockensubstanz

Vergütungssätze nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das seit 2000 gültige Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) regelt die Vergütung von erzeugtem Strom u.a. aus Biomasse, welche durch die Novellierung im Jahr 2004 verbessert wurde.

Grundvergütung	Vergütungshöhe in ct/kWh	
	2007	2008
bis 150 kW	10,99	10,83
von 150 bis 500 kW	9,46	9,32
von 500 kW bis 5 MW	8,51	8,38
von 5 MW bis 20 MW	8,03	7,91
Biomasse-Bonus		
bis 500 kW	6	
ab 500 kW bis 5 MW	4	
Technologie-Bonus (bis 5 MW)	2	
Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus	2	

Die Höhe der Grundvergütung ergibt sich aus der jeweiligen Vergütung des Jahres der Inbetriebnahme und gilt für 20 Jahre. Die Grundvergütung unterliegt einer jährlichen Degression von 1,5% bezogen auf die im Vorjahr geltende Vergütung.

Die zu gewährenden Bonifikationen sind kumulativ. Dies gilt für Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2003 in Betrieb gegangen sind.

Weitere Einzelheiten und Erläuterungen zum EEG finden Sie unter www.bio-energie.de oder www.bmu.de

Fördermöglichkeiten

Es werden für Bioenergieprojekte zinsgünstige Darlehen gewährt, deren genaue Konditionen ebenso wie die Antragsformulare über die Informationsstelle der KfW Bank zu beziehen sind: www.kfw-mittelstandsbank.de

Des Weiteren gibt es diverse Förderprogramme für Bioenergieprojekte des Bundes und der Länder. Eine Übersicht finden Sie unter www.fnr.de und www.bio-energie.de, Stichwort „Förderung“.

Typische Merkmale von BHKW-Motoren für die Verwendung von Biogas

Merkmal	Gas-Otto-Motor	Zündstrahl-Motor
Leistungsbereich	Leistung bis 1 MW _{el} , selten unter 100 kW _{el}	Leistung bis 250 kW _{el}
Wirkungsgrad	elektrisch 34 – 40 %	elektrisch 30 – 40 %
Standzeit	40.000 – 60.000 Bh	30.000 – 40.000 Bh
Wartung	mittel	hoch
Vorteil	- speziell für Gasverwertung konstruiert - Emissionsgrenzwerte werden eingehalten	- im unteren Leistungsbereich erhöhter Wirkungsgrad _{el} im Vergleich zu Gas-Otto-Motor
Nachteil	- Geringerer elektrischer Wirkungsgrad im unteren Leistungsbereich - Leicht erhöhte Kosten gegenüber Zündstrahlmotoren	- Zusätzlicher Brennstoff (Zündöl) erforderlich - Schadstoffausstoß überschreitet häufig die TA Luft

Quelle: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung (FNR, 2006)

Biogas wird derzeit überwiegend in Verbrennungsmotoren, die einen Generator antreiben, in Strom umgewandelt. Man unterscheidet hierbei Gas-Otto- und Zündstrahl-Motoren. Zündstrahlmotoren arbeiten nach dem Dieselpinzip. Da sich Biogas bei Kompression nicht selbst entzündet, muss ein Zündöl eingespritzt werden (max. 10% der Brennstoffleistung), um ein selbstzündendes Gasgemisch herzu-

stellen. Für Neuanlagen, die ab dem 1. Januar 2007 in Betrieb gegangen sind, ist der Einsatz von fossilem Zündöl nicht mehr zulässig.

Eine Biogasanlage kann dann besonders wirtschaftlich arbeiten, wenn auch die Motorenabwärme aus der Kühlung und dem Abgas ihren Abnehmer findet (Kraft-Wärme-Kopplung). Denn mit konventionellen Technologien lassen sich bis zu 40 % der im Biogas enthaltenen Energie in Strom umwandeln. Mit der Nutzung der entstehenden Abwärme lässt sich so der gesamte Wirkungsgrad (elektrisch und thermisch) auf rund 85 Prozent erhöhen.

	Versuchsstadium	Pilotanlage	Demonstrationsanlage	Marktreife
Biogasbereitstellung				
Nassvergärung				→
Trockenvergärung				→
Biogasbereitstellung				
Entschwefelung/Trocknung				→
Aufbereitung auf Erdgasqualität				→
Biogasverstromung				
BHKW Gasmotor				→
BHKW Zündstrahlmotor				→
Mikrogasturbine				→
Brennstoffzelle				→
Stirlingmotor	→			
Organic-Rankine-Cycle (ORC) (BHKW-Abwärmennutzung)				→

Quelle: Monitoring zur Wirkung des EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse (BMU, 2007) verändert