

nachwachsende-rohstoffe.de

# BASISDATEN BIOENERGIE DEUTSCHLAND

August 2013



**FESTBRENNSTOFFE  
BIOKRAFTSTOFFE  
BIOGAS**

Gefördert durch:



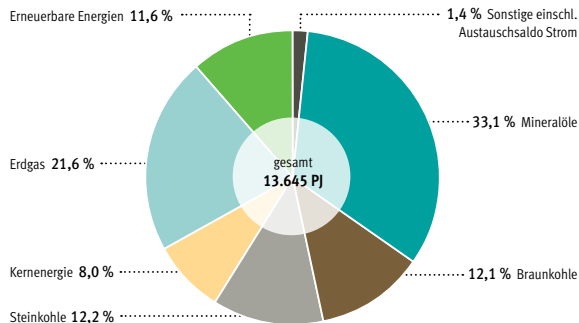
Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz

**G FNR**  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## ERNEUERBARE ENERGIEN (BIOENERGIE)

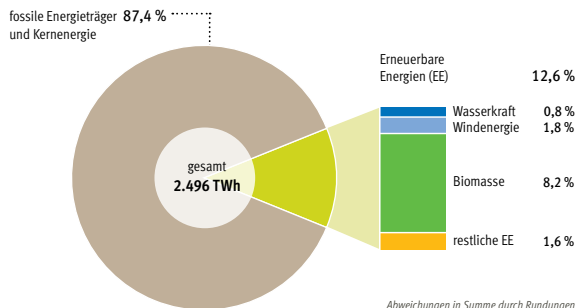
### Struktur Primärenergieverbrauch 2012



Quelle: AGEb (März 2013)

© FNR 2013

### Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 2012

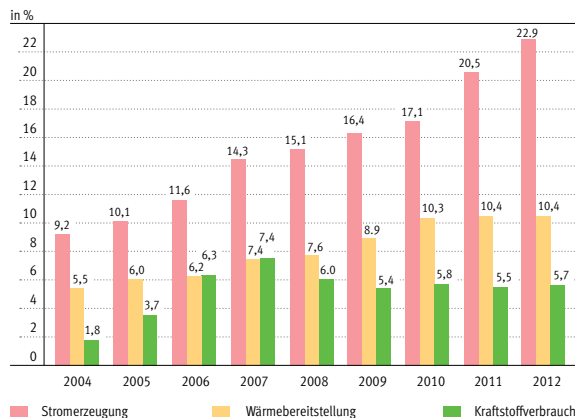


Abweichungen in Summe durch Rundungen

Quelle: BMU, AGEe-Stat (Februar 2013)

© FNR 2013

### Entwicklung erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 2012

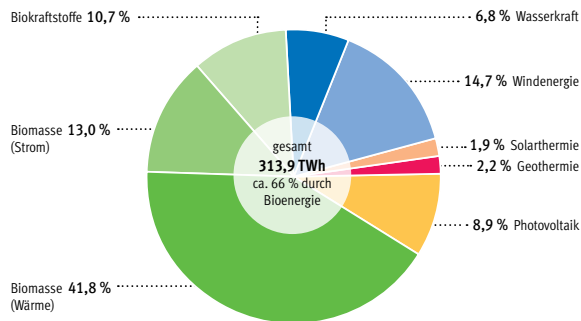


Quelle: BMU, AGEe-Stat, BAFA (März 2013)

© FNR 2013

### Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien 2012

Anteil Bioenergie ca. 66 % – entspricht 8,2 % am Endenergieverbrauch



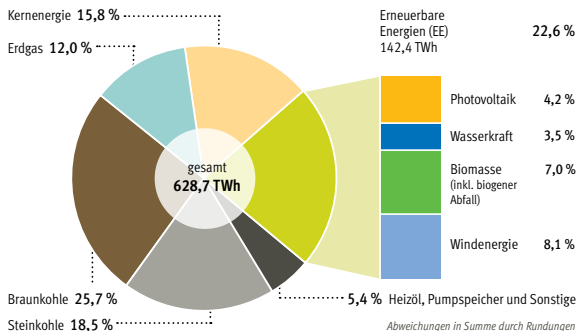
Strom und Wärme aus Biomasse inkl. Klär-, Deponiegas und biogener Anteil des Abfalls

Quelle: BMU, AGEe-Stat (März 2013)

© FNR 2013

## Brutto-Stromerzeugung 2012

Bruttostromerzeugung 2012: 628,4 TWh (628,4 Mrd. kWh) – Anteil EE: 22,6 %  
Bruttostromverbrauch 2012: 605,6 TWh (605,6 Mrd. kWh) – Anteil EE: 23,5 %  
(Differenz: Stromexport-Saldo 2012 von 23,1 TWh)

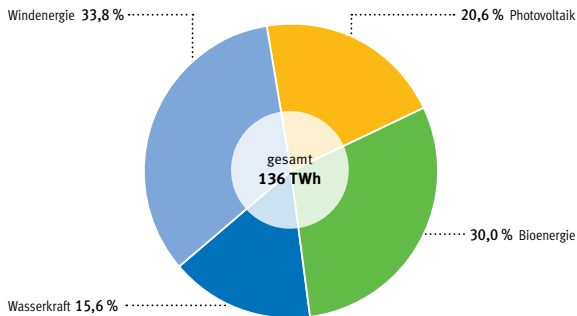


Quelle: FNR nach AGEB (August 2013)

© FNR 2013

## Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2012

Anteil Bioenergie 30 % – entspricht 6,8 % am gesamten Stromverbrauch



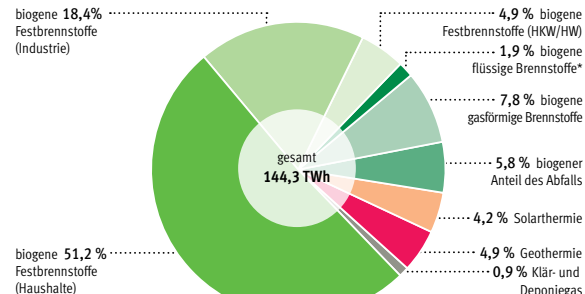
Geothermische Stromerzeugung auf Grund geringer Strommengen nicht dargestellt.

Quelle: BMU, AGEE-Stat (Februar 2013)

© FNR 2013

## Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

Anteil Bioenergie 91 % – entspricht ca. 10,4 % an der gesamten Wärmebereitstellung



HKW/HW = Heizkraftwerk- und Heizwerke

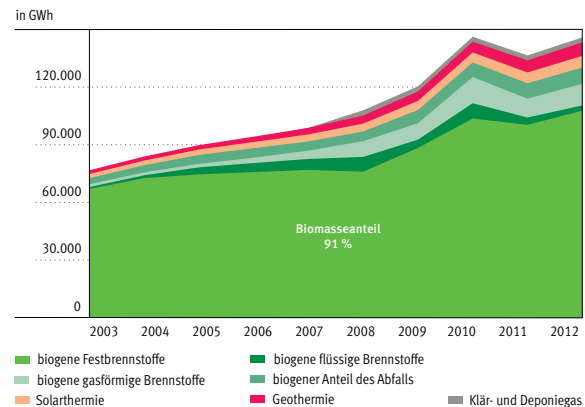
Quelle: BMU, AGEE-Stat (Februar 2013)

\* inkl. Pflanzenöl

© FNR 2013

## Entwicklung Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien

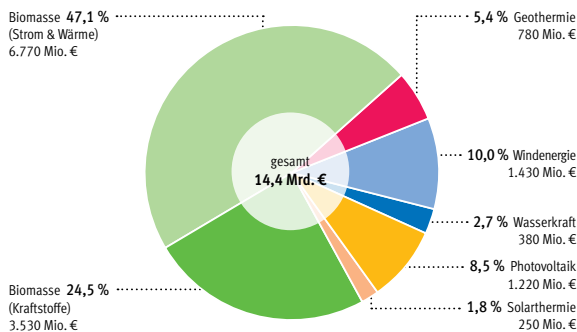
144,3 TWh in 2012 – davon 91 % bzw. 131,2 TWh aus Biomasse



Quelle: AGEE-Stat (Februar 2013)

© FNR 2013

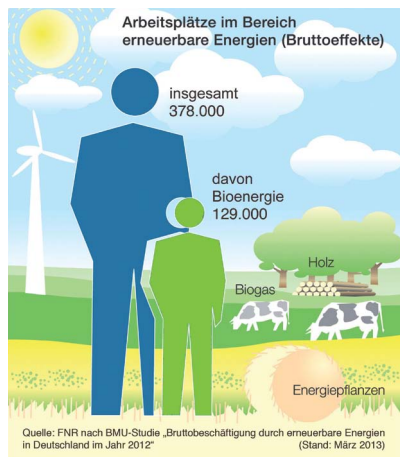
## Umsatz aus dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen 2012



Quelle: BMU, AGEE-Stat (Februar 2013)

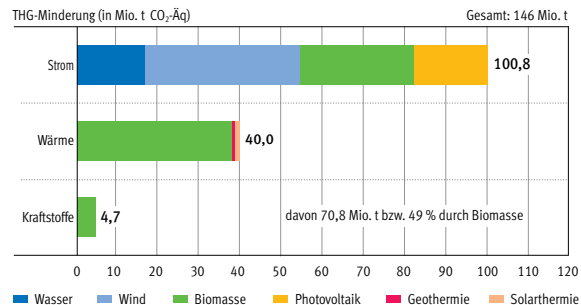
© FNR 2013

## Wirtschaftsfaktor Bioenergie



## Reduktion Treibhausgas-Emissionen durch erneuerbare Energien 2012

THG-Vermeidung gesamt: 146 Mio. t – durch Biomasse 70,8 Mio. t bzw. ca. 49 %



THG: Treibhausgas

Quelle: BMU, AGEE-Stat (Februar 2013)

© FNR 2013

Treibhausgase (THG) in CO<sub>2</sub>-Äquivalent beinhalten CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O.

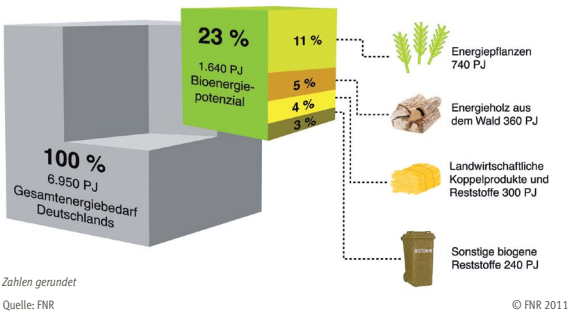
## THG-Vermeidung durch Bioenergie 2012

|                           | THG Vermeidung in 1.000 t CO <sub>2</sub> -Äq |               |              |               |
|---------------------------|-----------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|
|                           | Strom                                         | Wärme         | Kraftstoffe  | gesamt        |
| feste Bioenergieträger*   | 13.883                                        | 35.074        | k. a.        | 48.957        |
| flüssige Bioenergieträger | 677                                           | 747           | 4.667        | 6.091         |
| Biogas**                  | 13.463                                        | 2.303         | k. a.        | 15.766        |
| <b>gesamt</b>             | <b>28.023</b>                                 | <b>38.124</b> | <b>4.667</b> | <b>70.814</b> |

Quelle: FNR nach AGEE-Stat (Februar 2013)

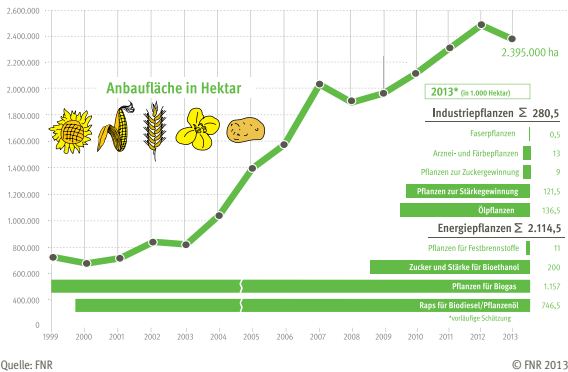
\* inkl. biogener Anteil des Abfalls; \*\* inkl. Klär- und Deponiegas

Einheimische Bioenergie: Was kann sie 2050 leisten?



Einheimische Biomasse trägt in Deutschland zukünftig maßgeblich zur Energieversorgung bei. Bis zu 23 % des Bedarfs an Wärme, Strom und Kraftstoffen kann sie 2050 decken. Holz, Energiepflanzen, Stroh sowie Rest- und Abfallstoffe bieten das Potenzial, einen erheblichen Teil unserer Energie nachhaltig zu erzeugen.

Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland

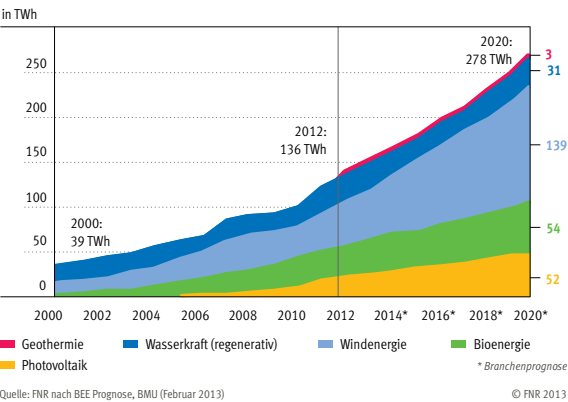


Biomasseanlagen zur EEG-Stromerzeugung 2012

|                                                     | Anlagenanzahl | inst. Leistung [MW <sub>el</sub> ] | Stromerzeugung [TWh] |
|-----------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|----------------------|
| Biomasseheizkraftwerke*                             | 540           | 1.560                              | 8,4                  |
| Biogasanlagen                                       | 7.500         | 3.200                              | 23,1                 |
| Biomethananlagen                                    | 120           | 200                                | 1,4                  |
| Anlagen zur Stromerzeugung aus flüssiger Biomasse** | 1.000         | 200                                | 0,2                  |
| <b>gesamt</b>                                       | <b>9.160</b>  | <b>5.160</b>                       | <b>33,1</b>          |

Quelle: Stromerzeugung aus Biomasse, DBFZ (Juni 2013) \* davon ca. 300 Holzgas-BHKW; \*\* inkl. Pflanzenöl-BHKW

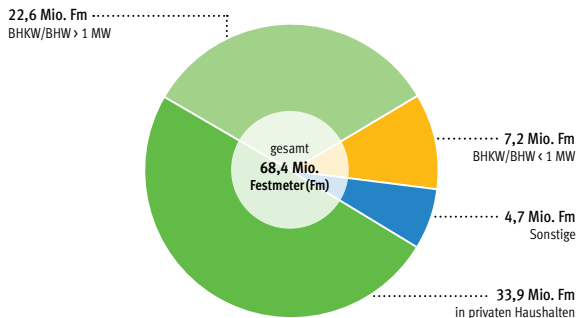
Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020



# FESTBRENNSTOFFE

## Energetische Nutzung von Holz 2010

gesamt: 68,4 Mio. Festmeter (Fm) entspricht 50,5 % des Holzaufkommens

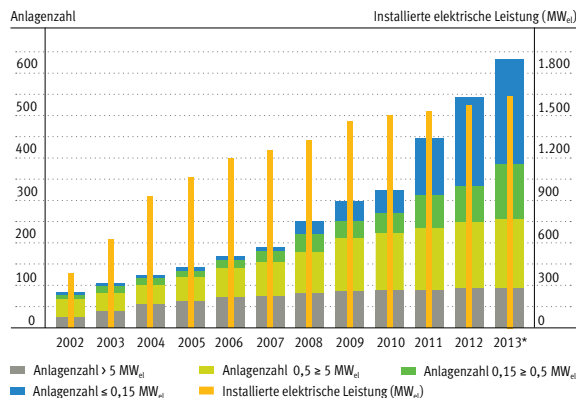


BHKW: Biomasseheizkraftwerk; BHW: Biomasseheizwerk

Quelle: Mantau/Holzrohstoffbilanz Deutschland 2012

© FNR 2012

## Biomasseheizkraftwerke – Anlagenbestand und installierte elektrische Leistung

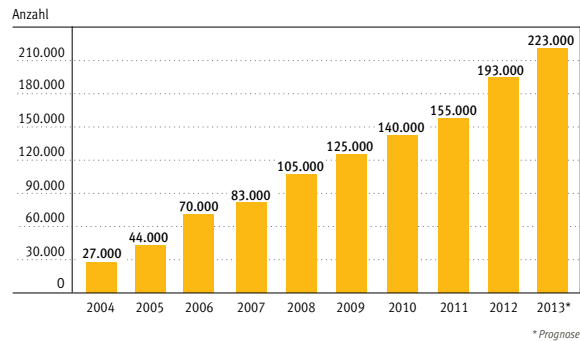


\* Prognose; ohne Kleinst-KWK-Anlagen < 10 KW<sub>el</sub> und Biomasse-Mitverbrennung in Kraftwerken

Quelle: FNR nach DBFZ „Stromerzeugung aus Biomasse“ (Juni 2013)

© FNR 2013

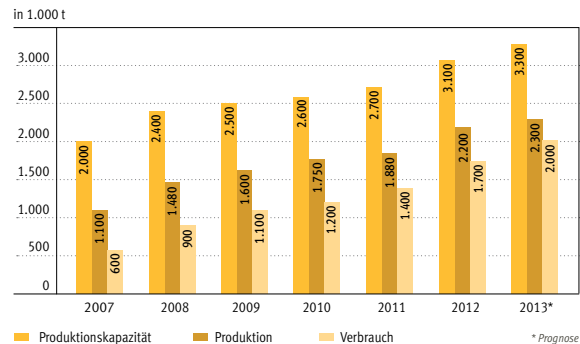
## Gesamtbestand an Pelletheizungen



Quelle: DEPI auf Basis Biomasseatlas.de, ZfV, HKI (Januar 2013)

© FNR 2013

## Holzpellets – Produktion und Verbrauch



\* Prognose

Quelle: DEPI, FNR (2013)

© FNR 2013

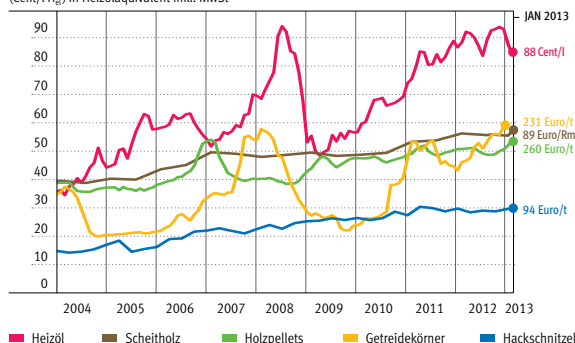
## Heizwertbezogene Äquivalentpreise von Holzbrennstoffen

| Heizöl<br>in €/Liter | Holzpellets<br>w < 10 %<br>in €/t | Scheitholz Buche<br>w = 15 %<br>in €/Rm | Hackgut Fichte<br>w = 30 %<br>in €/Srm |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0,5                  | 250                               | 95                                      | 37                                     |
| 0,6                  | 300                               | 114                                     | 45                                     |
| 0,7                  | 350                               | 133                                     | 52                                     |
| 0,8                  | 400                               | 152                                     | 60                                     |
| 0,9                  | 450                               | 172                                     | 76                                     |
| 1,0                  | 500                               | 191                                     | 75                                     |
| 1,1                  | 550                               | 210                                     | 82                                     |
| 1,2                  | 600                               | 229                                     | 89                                     |
| 1,3                  | 650                               | 248                                     | 97                                     |
| 1,4                  | 700                               | 267                                     | 104                                    |
| 1,5                  | 750                               | 286                                     | 112                                    |

Quelle: FNR (2012)

Die Brennstoffpreise werden mit Bezug auf den unteren Heizwert verglichen.

## Energiepreisentwicklung

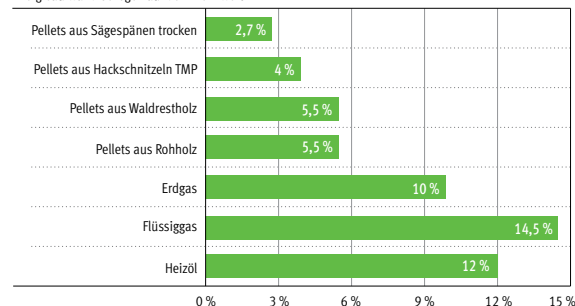
(Cent/l H<sub>u</sub>) in Heizöläquivalent inkl. MwSt


Quelle: FNR nach TFZ (Januar 2013)

© FNR 2013

## Energieaufwand zur Herstellung von Brennstoffen

Energieaufwand bezogen auf den Brennwert



TMP: Thermo-Mechanical-Pulping

Quelle: DEPI, H. Schellinger, J. Bergmair (TU Graz)

© FNR 2011

## Normung fester Biobrennstoffe

für nichtindustrielle Verwendung – Brennstoffspezifikationen und -klassen

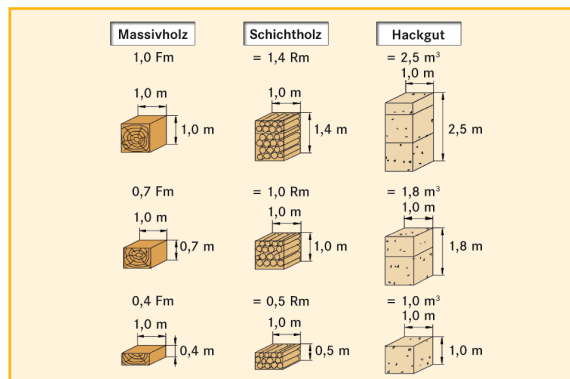
| Brennstoff                                 | Norm           |
|--------------------------------------------|----------------|
| Allgemeine Anforderungen                   | DIN EN 14961-1 |
| Holzpellets                                | DIN EN 14961-2 |
| Holzbriketts                               | DIN EN 14961-3 |
| Holz hackschnitzel                         | DIN EN 14961-4 |
| Stückholz für nichtindustrielle Verwendung | DIN EN 14961-5 |
| Nicht-holzartige Pellets*                  | DIN EN 14961-6 |

Quelle: Beuth Verlag

\* halmgutartige Biomasse; Biomasse von Früchten; definierte und undefinierte Mischungen von Biomasse

## Allgemeine Umrechnungsfaktoren für Holzmen- gen (Faustzahlen)

|              | $t_{atro}$ | Fm      | Rm  | Srm |
|--------------|------------|---------|-----|-----|
| 1 $t_{atro}$ | 1,0        | 1,3–2,5 | 2,9 | 4,9 |
| 1 Fm         | 0,4–0,7    | 1,0     | 1,4 | 2,5 |
| 1 Rm         | 0,3        | 0,7     | 1,0 | 1,8 |
| 1 Srm        | 0,2        | 0,4     | 0,5 | 1,0 |



### Anmerkung

Die unbemaßte Kantenlänge beträgt jeweils 1 m.

### Abkürzungen

**atro:** absolut trocken (0 % Wassergehalt)

**Fm:** (Festmeter) In der Forst- und Holzwirtschaft übliche Benennung für 1 m³ Holz ohne Zwischenräume.

**Rm:** (Raummeter) In der Forst- und Holzwirtschaft übliche Benennung für 1 m³ geschichtetes Holz unter Einschluss der Luftzwischenräume.

**Srm:** (Schütttraummeter oder -kubikmeter) Raummeter geschütteter Holzteile (z. B. Hackgut, Schüttgut).

Quelle: Handbuch Bioenergie Kleinanlagen, FNR (2007) und eigene Berechnungen

## Berechnung des Wassergehalts und der Holzfeuchte

$$\text{Wassergehalt } w [\%] = \frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]}}{\text{Gewicht des feuchten Holzes [kg]}} \cdot 100$$

$$\text{Holzfeuchte } u [\%] = \frac{\text{Gewicht des Wassers [kg]}}{\text{Gewicht des trockenen Holzes [kg]}} \cdot 100$$

|                   |    |    |    |    |    |    |     |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|-----|
| Wassergehalt in % | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50  |
| Holzfeuchte in %  | 11 | 18 | 25 | 33 | 43 | 67 | 100 |

## Berechnung des Heizwertes der feuchten Gesamtsubstanz

$$H_i(w) = \frac{H_i(wf) \cdot (100 - w) - 2,44 \cdot w}{100}$$

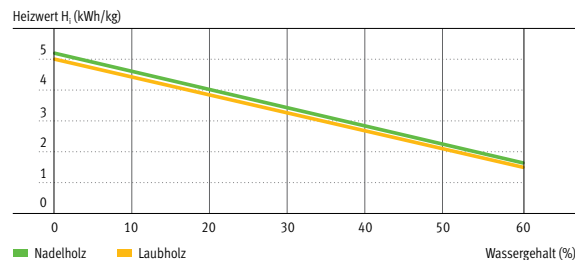
**$H_i(w)$ :** Heizwert des Holzes (in MJ/kg) bei einem Wassergehalt  $w$

**$H_i(wf)$ :** Heizwert der Holz Trockensubstanz (in MJ/kg) im „wasserfreien“ Zustand

**2,44:** Verdampfungswärme des Wassers in MJ/kg bezogen auf 25 °C

**$w$ :** Wassergehalt in %

## Heizwert von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt



Quelle: Bayerisches Landesinstitut für Forstwirtschaft (Merkblatt 12)

© FNR 2013

## Typische Massen- und Energieerträge in der Land- und Forstwirtschaft

|  | Massen-<br>ertrag<br>(w = 15 %)<br>in<br>t/(ha · a) | Heizwert<br>H <sub>i</sub><br>(w = 15 %)<br>in<br>MJ/kg | Brutto-<br>Jahresbrenn-<br>stofftertrag<br>in<br>MWh/<br>(ha · a) | Heizöl-<br>äquivalent<br>in<br>l/(ha · a) |
|--|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|--|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|

### Rückstände

|                           |     |      |    |       |
|---------------------------|-----|------|----|-------|
| Waldrestholz              | 1,0 | 15,6 | 4  | 434   |
| Getreidestroh             | 6,0 | 14,3 | 24 | 2.390 |
| Rapsstroh                 | 4,5 | 14,2 | 18 | 1.771 |
| Landschafts-<br>pflegeheu | 4,5 | 14,4 | 18 | 1.803 |

### Energiepflanzen

|                                                         |      |      |    |       |
|---------------------------------------------------------|------|------|----|-------|
| Kurzumtriebs-<br>plantagen<br>(z. B. Pappel,<br>Weiden) | 12,0 | 15,4 | 51 | 5.120 |
| Getreideganz-<br>pflanzen                               | 13,0 | 14,1 | 51 | 5.086 |
| Getreidekörner                                          | 7,0  | 14,0 | 27 | 2.772 |
| Futtergräser<br>(z. B. Rohr-<br>schwingel)              | 8,0  | 13,6 | 30 | 3.016 |
| Miscanthus<br>(Chinaschilf,<br>ab 3. Jahr)              | 15,0 | 14,6 | 61 | 6.081 |

Quelle: Leitfaden Bioenergie, FNR (2007) und eigene Berechnungen

## Biobrennstoffe im Vergleich zu Heizöl

Heizwerte und Dichte ausgewählter Brennstoffe im Vergleich

| Brennstoff                                | Dichte                | Energiegehalt in |       | Öläquivalent in   |                     |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------|-------|-------------------|---------------------|
|                                           |                       | kWh/kg           | kWh/l | l/l <sub>OE</sub> | kg/kg <sub>OE</sub> |
| Heizöl                                    | 0,85 kg/l             | 11,83            | 10,06 | 1,00              | 0,98                |
| Rapsöl                                    | 0,92 kg/l             | 10,44            | 9,61  | 1,04              | 1,14                |
| Steinkohle<br>(w = 5,1 %)                 | 860 kg/m <sup>3</sup> | 8,25             | 7,10  | 1,40              | 1,21                |
| Ethanol                                   | 0,79 kg/l             | 7,41             | 5,85  | 1,70              | 1,35                |
| Holzpellets<br>(w = 10 %)                 | 664 kg/m <sup>3</sup> | 5,00             | 3,32  | 3,00              | 1,99                |
| Strohpellets<br>(w = 10 %)                | 603 kg/m <sup>3</sup> | 4,90             | 2,95  | 3,37              | 2,03                |
| Buche Scheitholz 33 cm<br>(w = 15 %)      | 445 kg/Rm             | 4,15             | 1,85  | 5,40              | 2,40                |
| Fichte Scheitholz 33 cm<br>(w = 15 %)     | 304 kg/Rm             | 4,33             | 1,32  | 7,56              | 2,30                |
| Hackschnitzel Kiefer<br>(w = 15 %)        | 203 kg/m <sup>3</sup> | 4,33             | 0,88  | 11,33             | 2,30                |
| Sägemehl Fichte<br>(w = 15 %)             | 160 kg/m <sup>3</sup> | 4,33             | 0,69  | 14,37             | 2,30                |
| Getreide Ganzpflanze<br>(w = 15 %)        | 150 kg/m <sup>3</sup> | 3,92             | 0,59  | 16,96             | 2,54                |
| Getreidestroh<br>Großballen<br>(w = 15 %) | 140 kg/m <sup>3</sup> | 3,96             | 0,55  | 17,98             | 2,52                |
| Miscanthus Häckselgut<br>(w = 15 %)       | 130 kg/m <sup>3</sup> | 4,07             | 0,53  | 18,85             | 2,45                |

Quelle: FNR

w: Wassergehalt; l: Liter; Rm: Raummeter; Srm: Schüttraummeter; OE: Öläquivalent

## Verbrennungstechnische Daten von festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern

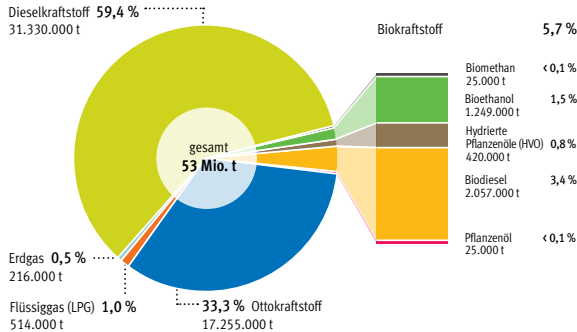
|                                             | Wassergehalt [%] | Masse [kg] | Heizwert [MJ/kg] | Energiegehalt |       | Heizöläquivalent [l] |
|---------------------------------------------|------------------|------------|------------------|---------------|-------|----------------------|
|                                             |                  |            |                  | [MJ]          | [kWh] |                      |
| <b>Scheitholz (bezogen auf 1 Rm)</b>        |                  |            |                  |               |       |                      |
| • Hartholz (Buche)                          |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 476        | 14,7             | 6.997         | 1.944 | 194                  |
| - sommertrocken                             | 35               | 600        | 11,1             | 6.660         | 1.850 | 185                  |
| • Weichholz (Fichte)                        |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 309        | 15,0             | 4.635         | 1.288 | 129                  |
| - sommertrocken                             | 35               | 389        | 11,4             | 4.435         | 1.232 | 123                  |
| <b>Hackgut (bezogen auf 1 m³)</b>           |                  |            |                  |               |       |                      |
| • Hartholz (Buche)                          |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 280        | 14,7             | 4.116         | 1.143 | 114                  |
| - waldfrisch                                | 50               | 460        | 8,0              | 3.680         | 1.022 | 102                  |
| • Weichholz (Fichte)                        |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 182        | 15,0             | 2.730         | 758   | 76                   |
| - waldfrisch                                | 50               | 298        | 8,2              | 2.444         | 679   | 68                   |
| <b>Gewichtsmaße allg. (bezogen auf 1 t)</b> |                  |            |                  |               |       |                      |
| • Hartholz (Buche)                          |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 1.000      | 14,7             | 14.700        | 4.083 | 408                  |
| - sommertrocken                             | 35               | 1.000      | 11,1             | 11.100        | 3.083 | 308                  |
| • Weichholz (Fichte)                        |                  |            |                  |               |       |                      |
| - lufttrocken                               | 18               | 1.000      | 15,0             | 15.000        | 4.167 | 417                  |
| - sommertrocken                             | 35               | 1.000      | 11,4             | 11.400        | 3.167 | 317                  |
| • Halmgut (Stroh, Getreide etc.)            | 15               | 1.000      | 14,5             | 14.500        | 4.028 | 403                  |
| <b>Biokraftstoffe (bezogen auf 1 m³)</b>    |                  |            |                  |               |       |                      |
| • Rapsöl                                    | < 0,1            | 920        | 37,6             | 34.590        | 9.609 | 961                  |
| • Biodiesel (Rapsölmethylester)             | < 0,03           | 880        | 37,1             | 32.650        | 9.093 | 909                  |
| <b>Biogas (bezogen auf 1 m³)</b>            | < 1              | 1,2        | 18,2             | 21,6          | 6     | 0,6                  |

Quelle: FNR (2007 – geändert und ergänzt nach Leitfaden Bioenergie 2005, Tab 3.1.12)

# BIOKRAFTSTOFFE

## Kraftstoffverbrauch im Verkehrssektor 2012

Biokraftstoffanteil: 5,7 % (energetisch)

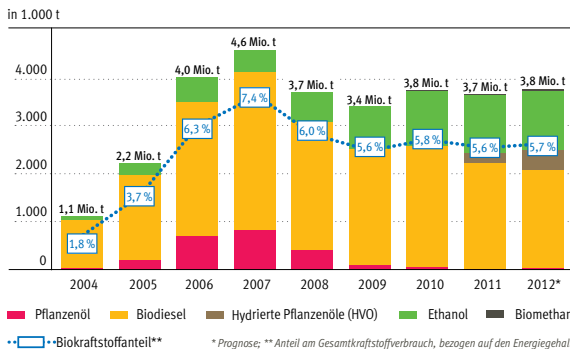


Quelle: BAFA, erdgas mobil, DVFG, BMF, FNR (2013)

© FNR 2013

In Deutschland wurden 2012 53 Mio. Tonnen Kraftstoff im Verkehrssektor verbraucht. Neben Dieselkraftstoff mit 59,4 % und Ottokraftstoff mit 33,3 % lag der Anteil biogener Kraftstoffe bei 5,7 % bzw. 3,8 Mio. Tonnen.

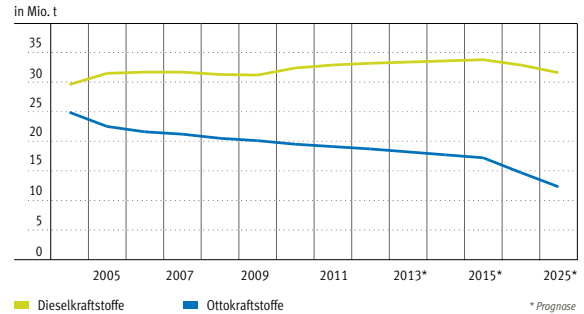
## Entwicklung Biokraftstoffe



Quelle: BAFA, BMF, FNR (August 2013)

© FNR 2013

## Entwicklung Kraftstoffverbrauch bis 2025



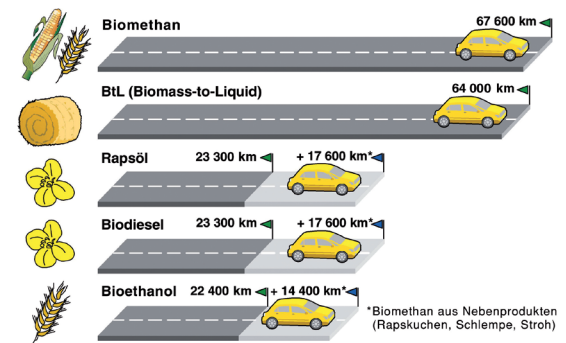
Quelle: BAFA, MWV, FNR

\* Prognose

© FNR 2011

## Biokraftstoffe im Vergleich

So weit kommt ein Pkw mit Biokraftstoffen von 1 Hektar Anbaufläche.



Pkw Kraftstoffverbrauch: Otto 7,4 l/100 km, Diesel 5,1 l/100 km

Quelle: FNR

© FNR 2011

## Biodiesel (Rohstoffe zur Herstellung)

| Rohstoffe | Biomasse-<br>ertrag (FM)<br>[t/ha] | Biodieselertrag<br>[l/ha] | erforderliche<br>Biomasse pro Liter<br>Kraftstoff [kg/l] |
|-----------|------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| Rapsöl    | 3,5                                | 1.590                     | 2,2                                                      |
| Palmöl    | 20,0                               | 4.440                     | 4,5                                                      |
| Sojaöl    | 2,9                                | 640                       | 4,6                                                      |
| Jatropha  | 2,5                                | 610                       | 4,1                                                      |

Quelle: Meö, FNR

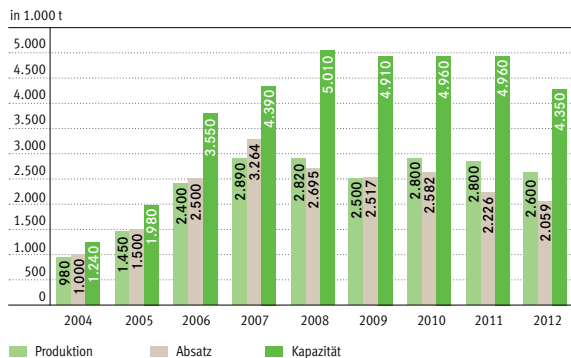
FM: Frischmasse

## Biodieselsatz

| Absatz in 1.000 Tonnen | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Beimischung            | 1.423        | 1.613        | 2.191        | 2.236        | 2.129        | 1.928        |
| Reinkraftstoffe        | 1.895        | 1.082        | 241          | 293          | 97           | 131          |
| <b>Absatz gesamt</b>   | <b>3.318</b> | <b>2.695</b> | <b>2.431</b> | <b>2.529</b> | <b>2.226</b> | <b>2.059</b> |

Quelle: BAFA, FNR

## Entwicklung Biodiesel



© FNR 2013

## Bioethanol (Rohstoffe zur Herstellung)

| Rohstoffe   | Biomasse-<br>ertrag (FM)<br>[t/ha] | Bioethanol-<br>ertrag [l/ha] | erforderliche<br>Biomasse pro Liter<br>Kraftstoff [kg/l] |
|-------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Körnermais  | 9,0                                | 3.740                        | 2,4                                                      |
| Weizen      | 7,2                                | 2.760                        | 2,6                                                      |
| Roggen      | 4,9                                | 2.030                        | 2,4                                                      |
| Triticale   | 5,6                                | 2.230                        | 2,5                                                      |
| Zuckerrüben | 70,0                               | 7.540                        | 9,3                                                      |
| Zuckerrohr  | 73,0                               | 6.380                        | 11,4                                                     |
| Stroh       | 7,0                                | 2.310                        | 3,0                                                      |

Quelle: Meö, FNR

FM: Frischmasse

## Bioethanolsatz

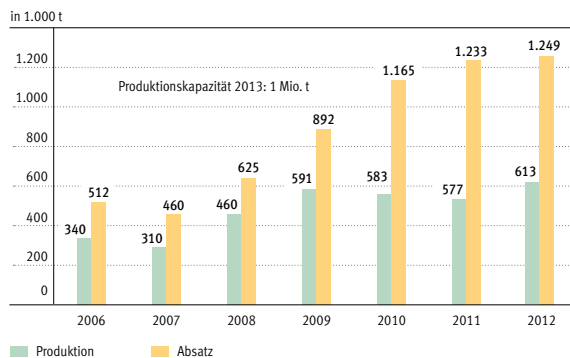
| Absatz in 1.000 Tonnen | 2007       | 2008       | 2009       | 2010         | 2011         | 2012         |
|------------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Ethanolanteil E 85*    | 5 (6)      | 7 (8)      | 7 (9)      | 15 (18)      | 16 (19)      | 17 (21)      |
| Ethanol (BM)           | 88         | 251        | 687        | 1.028        | 1.054        | 1.090        |
| ETBE** (BM)            | 366        | 367        | 198        | 122          | 162          | 142          |
| <b>Absatz gesamt</b>   | <b>460</b> | <b>625</b> | <b>892</b> | <b>1.165</b> | <b>1.233</b> | <b>1.249</b> |

Quelle: BAFA, FNR

BM: Beimischung zum Ottokraftstoff;

\* E 85: Bioethanolanteil 70–90 %; \*\* 47 % Ethanol und 53 % Isobuten

## Entwicklung Bioethanol



© FNR 2013

## Pflanzenöle (Kraftstoffeigenschaften)

| Pflanzenöl                 | Dichte<br>(15 °C)<br>[kg/l] | Heizwert<br>[MJ/kg] | kin. Viskosität<br>(40 °C)<br>[mm²/s] | Stockpunkt (°C) | Flammpunkt (°C) | Jodzahl     |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Anforderungen<br>DIN 51605 | 0,910–0,925                 | min. 36             | max. 36                               | –               | min. 101        | max. 125    |
| Rapsöl                     | 0,92                        | 37,6                | 35                                    | –2 bis –10      | > 220           | 94 bis 113  |
| Sonnenblumenöl             | 0,92                        | 37,1                | 32                                    | –16 bis –18     | > 220           | 118 bis 144 |
| Sojaöl                     | 0,92                        | 37,1                | 32                                    | –8 bis –18      | > 220           | 114 bis 138 |
| Olivenöl                   | 0,92                        | 37,8                | 38                                    | –5 bis –9       | > 220           | 76 bis 90   |
| Jatrophaöl                 | 0,92                        | 36,8                | 34                                    | 2 bis –3        | > 220           | 102         |
| Kokosöl                    | 0,92                        | 35,3                | 28                                    | 14 bis 25       | > 220           | 7 bis 10    |
| Palmöl                     | 0,92                        | 37,0                | 42                                    | 27 bis 43       | > 220           | 34 bis 61   |
| Leindotteröl               | 0,92                        | 37,0                | 31                                    | –11 bis –18     | > 220           | 149 bis 155 |
| Palmkernöl                 | 0,93                        | 35,5                | 24                                    | 20 bis 24       | > 220           | 14 bis 22   |

Quelle: TFZ, ASG, FNR (geändert 2011)

## Vergleich (de)zentraler Pflanzenölerzeugung

| Ölgewinnung aus 1 t Rapssaat* |             | dezentral | zentral |
|-------------------------------|-------------|-----------|---------|
| Abpressgrad                   | [%]         | 80        | 99      |
| Ölausbeute                    | [kg/t Saat] | 336       | 416     |
| Ausbeute Rapskuchen           | [kg/t Saat] | 660       | –       |
| Ausbeute<br>Extraktionsschrot | [kg/t Saat] | –         | 580     |
| Ölertrag                      | [l/t Saat]  | 365       | 452     |
| Ölertrag                      | [l/ha]      | 1.387     | 1.718   |

Quelle: TFZ, FNR

\* Ölgehalt der Saat 42 %

## Entwicklung dezentraler Ölmühlen

Auslastung der dezentralen Ölmühlen 45 % in 2012

|                                     | 2004 <sup>a</sup> | 2006 | 2007 <sup>b</sup> | 2008 | 2009 <sup>c</sup> | 2010 | 2012             |
|-------------------------------------|-------------------|------|-------------------|------|-------------------|------|------------------|
| Anzahl der Ölmühlen                 | 219               | 550  | 585               | 601  | 434               | 290  | 245 <sup>d</sup> |
| verarbeitete Rapssaat<br>in 1.000 t | 380               | 889  | 983               | 593  | k. a.             | 348  | 266              |

Quelle: TFZ Umfragen

<sup>a</sup> März 2004; <sup>b</sup> Aug. 2007; <sup>c</sup> Aug. 2009; <sup>d</sup> davon 44 Anlagen ausschließlich Speiseöl

## Verwendung Pflanzenöl aus dezentralen Ölmühlen in %

|      | Rapsölkraftstoff* | Biodiesel | Futteröl | Speiseöl | techn. Öle |
|------|-------------------|-----------|----------|----------|------------|
| 2007 | 58                | 38        | 3,4      | 0,3      | 0,7        |
| 2010 | 35                | 30        | 22       | 7        | 6          |
| 2012 | 19                | 17        | 20       | 30       | 14         |

Quelle: TFZ Umfragen

\* mobil und stationär

## Biomethan

Für die Nutzung von Biogas als Kraftstoff ist dessen Aufbereitung auf Erdgasqualität (Biomethan) erforderlich. In Deutschland fahren über 90.000 Erdgasfahrzeuge, denen ein Tankstellennetz von mehr als 900 Erdgastankstellen zur Verfügung steht.

## Rohstoffserträge zur Herstellung von Biomethan

| Rohstoff-<br>ertrag<br>[t/ha] FM | Biogas-<br>ausbeute<br>[Nm³/t] | Methan-<br>gehalt<br>[%] | Methanausbeute |         |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|---------|
|                                  |                                |                          | [Nm³/ha]       | [kg/ha] |
| ca. 50*                          | ca. 200*                       | 53                       | 4.664          | 3.358   |

Quelle: FNR nach KTBL (2012)

\* auf Basis von Silomais, mittleres Ertragsniveau; 12 % Lagerungsverluste;  
Dichte Biomethan: 0,72 kg/m³

## Kraftstoffvergleich: Eigenschaften von Biokraftstoffen

| Kraftstoff                               | Dichte<br>[kg/l]  | Heizwert<br>[MJ/kg] | Heizwert<br>[MJ/l] | Viskosität<br>bei 20 °C<br>[mm²/s] | Cetanzahl | Oktanzahl<br>[ROZ] | Flammpunkt<br>[°C] | Kraftstoff-<br>äquivalenz <sup>b</sup><br>[l] |
|------------------------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|-----------|--------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| Dieselmkraftstoff                        | 0,83              | 43,1                | 35,87              | 5,0                                | 50        | –                  | 80                 | 1                                             |
| Rapsölmkraftstoff                        | 0,92              | 37,6                | 34,59              | 74,0                               | 40        | –                  | 317                | 0,96                                          |
| Biodiesel                                | 0,88              | 37,1                | 32,65              | 7,5                                | 56        | –                  | 120                | 0,91                                          |
| Hydrierte Pflanzenöle (HVO) <sup>f</sup> | 0,78              | 44,1                | 34,30              | > 3,5 <sup>g</sup>                 | > 70      | –                  | 60                 |                                               |
| Biomass-to-Liquid (BtL) <sup>g</sup>     | 0,76              | 43,9                | 33,45              | 4,0                                | > 70      | –                  | 88                 | 0,97                                          |
| Ottokraftstoff                           | 0,74              | 43,9                | 32,48              | 0,6                                | –         | 92                 | < 21               | 1                                             |
| Bioethanol                               | 0,79              | 26,7                | 21,06              | 1,5                                | 8         | > 100              | < 21               | 0,65                                          |
| Ethyl-Tertiär-Butyl-Ether (ETBE)         | 0,74              | 36,4                | 26,93              | 1,5                                | –         | 102                | < 22               | 0,83                                          |
| Biomethanol                              | 0,79              | 19,7                | 15,56              | –                                  | 3         | > 110              | –                  | 0,48                                          |
| Methyl-Tertiär-Butyl-Ether (MTBE)        | 0,74              | 35,0                | 25,90              | 0,7                                | –         | 102                | –28                | 0,80                                          |
| Dimethylether (DME)                      | 0,67 <sup>b</sup> | 28,4                | 19,03              | –                                  | 60        | –                  | –                  | 0,59                                          |
| Biomethan                                | 0,72 <sup>e</sup> | 50,0                | 36,00 <sup>c</sup> | –                                  | –         | 130                | –                  | 1,5 <sup>d</sup>                              |
| Bio-Wasserstoff GH <sub>2</sub>          | 0,09 <sup>e</sup> | 120,0               | 10,80 <sup>c</sup> | –                                  | –         | < 88               | –                  | 3,6 <sup>d</sup>                              |

Quelle: FNR

<sup>a</sup> Basis FF-Kraftstoffen; <sup>b</sup> bei 20 °C; <sup>c</sup> [MJ/m³]; <sup>d</sup> [kg]; <sup>e</sup> [kg/m³]; <sup>f</sup> Quelle: VTT; <sup>g</sup> bei 40 °C; <sup>h</sup> Lesebeispiel: 1 l Biodiesel entspricht 0,91 l Dieselmkraftstoff + 1 kg Bio-Wasserstoff entspricht 3,6 l Ottokraftstoff (bei Nutzung über Brennstoffzelle 7 l)

## BtL

BtL steht für Biomass-to-Liquid und gehört wie GtL (Gas-to-Liquid)- und CtL (Coal-to-Liquid)-Kraftstoffe zu den synthetischen Kraftstoffen, deren Bestandteile genau auf die Anforderungen moderner Motorenkonzepte zugeschnitten, also maßgeschneidert werden.

## Rohstoffe zur Herstellung von BtL

| Rohstoffe       | Ertrag (FM)<br>[t/ha] | Kraftstoffsertrag<br>[l/ha] | erforderliche<br>Biomasse pro Liter<br>Kraftstoff [kg/l] |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|
| Energiepflanzen | 15–20                 | 4.030                       | 3,7                                                      |
| Stroh           | 7                     | 1.320                       | 5,3                                                      |

Quelle: Meö, FNR (2009 – Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse)

FM: Frischmasse

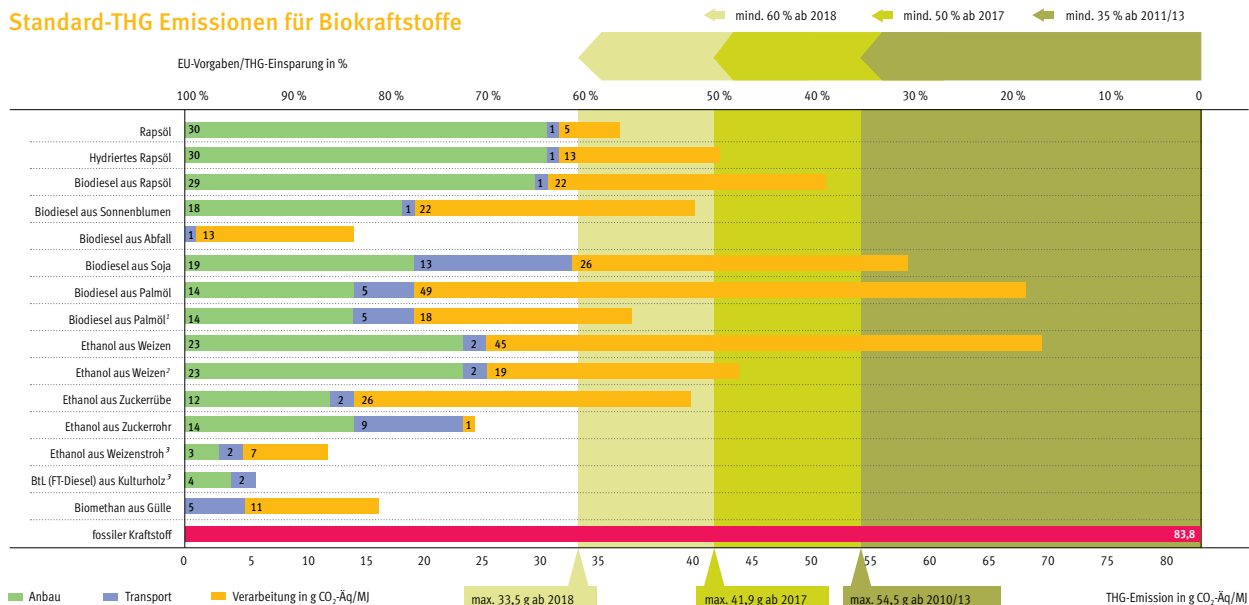
## Rahmenbedingungen Biokraftstoffe

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Richtlinie 2009/28/EG)<sup>9</sup> definiert verbindliche Ziele für Biokraftstoffe und regelt deren Nachhaltigkeit.

## Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen

Anforderungen zur Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen und Strom aus flüssiger Biomasse gelten seit Jan. 2011. Die Kriterien sind in der Biokraftstoff- und Biostrom-Nachhaltigkeitsverordnung definiert. Biokraftstoffe müssen ab 2011 min. 35 % THG einsparen und weitere Nachhaltigkeitskriterien entlang der gesamten Herstellungs- und Lieferkette erfüllen.

## Standard-THG Emissionen für Biokraftstoffe



## EU-Ziel 2020:

Für alle EU-Mitgliedsstaaten gilt das verbindliche Ziel, in 2020 einen Mindestanteil von 10 % erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor sicherzustellen.

## Deutschland-Ziel 2020:

7 % THG-Einsparung durch 2020 in Verkehr gebrachte Biokraftstoffe – Basis sind Referenzwerte für Otto- und Dieselmotoren, 7 % THG-Reduktion entspricht einem Biokraftstoffanteil von etwa 10–12 % (BlmSchG: § 37 a, Abs. 3a)

<sup>9</sup> Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen vom 23. April 2009; THG: Treibhausgas

## Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

| Jahr | Quote<br>Dieselkraftstoff | Quote<br>Ottokraftstoff | Gesamtquote |
|------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| 2007 | 4,4 %                     | 1,2 %                   | –           |
| 2008 |                           | 2,0 %                   | –           |
| 2009 |                           | 2,8 %                   | 5,25 %      |
| 2010 |                           |                         | 6,25 %      |
| 2011 |                           |                         |             |
| 2012 |                           |                         |             |
| 2013 |                           |                         |             |
| 2014 |                           |                         |             |
| 2015 | Dekarbonisierung 3,0 %    |                         |             |
| 2017 | Dekarbonisierung 4,5 %    |                         |             |
| 2020 | Dekarbonisierung 7,0 %    |                         |             |

Quelle: FNR nach BImSchG

Für beigemischte und auf die Quote angerechnete Biokraftstoffe entfällt die Steuerentlastung – sie wird nur für besonders förderungswürdige Biokraftstoffe gewährt.

- Energiesteuer Dieselkraftstoff: 47,04 ct/l
- Energiesteuer Ottokraftstoff: 65,45 ct/l

## Steuersätze für reine Biokraftstoffe nach Energiesteuergesetz (EnergieStG)

| Jahr          | Biodiesel [ct/l] | Pflanzenöl [ct/l] |
|---------------|------------------|-------------------|
| 2006 (August) | 9,00             | 0,00              |
| 2007          | 9,00             | 2,15              |
| 2008          | 14,88            | 9,85              |
| 2009          | 14,29            | 18,15             |
| 2010–2012     | 18,60            | 18,46             |
| 2013–2014     | 45,03            | 45,03             |

Quelle: FNR nach EnergieStG

Der Einsatz von Biokraftstoffen in der Landwirtschaft ist steuerbefreit. Biomethan als Reinkraftstoff ist steuerbefreit bis 2015.

### Besonders förderungswürdige Biokraftstoffe

- Ethanol mit einem Ethanolanteil von min. 70 % (V/V), z. B. E 85 (steuerbegünstigt hinsichtlich des Ethanolanteils)
- BtL und Ethanol aus Cellulose (steuerbefreit bis 2015)

### Kraftstoff-Normung

Die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualität von Kraftstoffen regelt die 10. BImSchV.

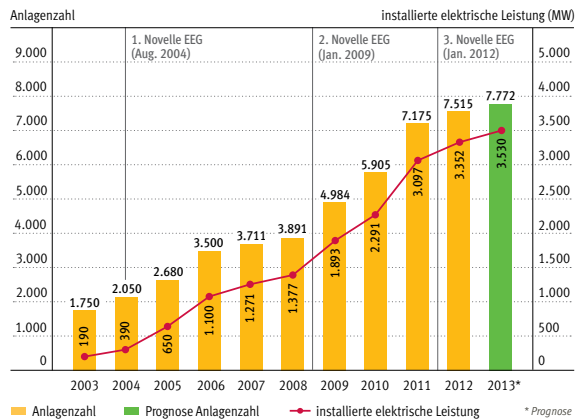
| Kraftstoff              | Norm         | Erläuterung                                                                                                                                  |
|-------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dieselmkraftstoff (B 7) | DIN EN 590   | Dieselmkraftstoffe mit bis zu 7 % (V/V) Biodiesel (Stand: 05/2010)                                                                           |
| Biodiesel (B 100)       | DIN EN 14214 | Fettsäure-Methylester (FAME) für Dieselmotoren (Stand: 04/2010)                                                                              |
| Rapsölkraftstoff        | DIN 51605    | Rapsölkraftstoff für pflanzenöltaugliche Motoren (Stand: 09/2010)                                                                            |
| Ottokraftstoff (E 5)    | DIN EN 228   | Unverbleite Ottokraftstoffe mit bis zu 5 % (V/V) Ethanol bzw. 15 % (V/V) ETBE (Stand: 09/2009)                                               |
| Ethanol                 | DIN 15376    | Ethanol als Blendkomponente in Ottokraftstoff (Stand: 04/2011)                                                                               |
| Ottokraftstoff E 10     | DIN 51626-1  | Ottokraftstoff E 10 – mit bis zu 10 % (V/V) Ethanol (Stand: 04/2009)                                                                         |
| Ethanol E 85            | DIN 51625    | – min. 75 % bis max. 86 % (V/V) Ethanol – Klasse A (Sommer)<br>– min. 70 % bis max. 80 % (V/V) Ethanol – Klasse B (Winter) (Stand: 08/2008)  |
| Erdgas & Biomethan      | DIN 51624    | Biomethan muss die Norm für Erdgas als Kraftstoff erfüllen – eine Mischung Biomethan-Erdgas ist in jedem Verhältnis möglich (Stand: 04/2009) |

Quelle: FNR (2011)

V/V: Volumenprozent

# BIOGAS

## Bestandsentwicklung Biogasanlagen

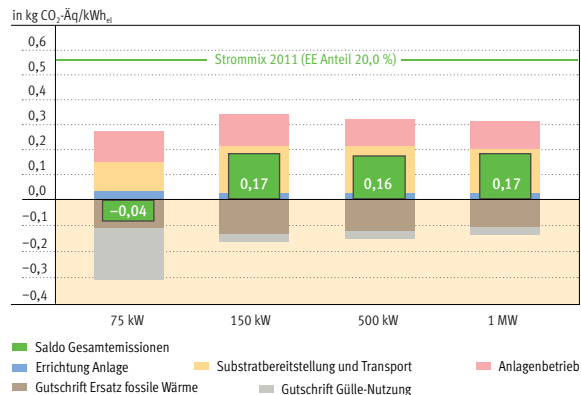


© FNR 2013

## Durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas

| Bestandteil                            | Konzentration |
|----------------------------------------|---------------|
| Methan (CH <sub>4</sub> )              | 50–75 Vol.-%  |
| Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )        | 25–45 Vol.-%  |
| Wasserdampf (H <sub>2</sub> O)         | 2–7 Vol.-%    |
| Schwefelwasserstoff (H <sub>2</sub> S) | 20–20.000 ppm |
| Sauerstoff (O <sub>2</sub> )           | < 2 Vol.-%    |
| Stickstoff (N <sub>2</sub> )           | < 2 Vol.-%    |
| Ammoniak (NH <sub>3</sub> )            | < 1 Vol.-%    |
| Wasserstoff (H <sub>2</sub> )          | < 1 Vol.-%    |
| Spurengase                             | < 2 Vol.-%    |

## Treibhausgasemissionen von Biogasanlagen im Vergleich zum deutschen Strommix

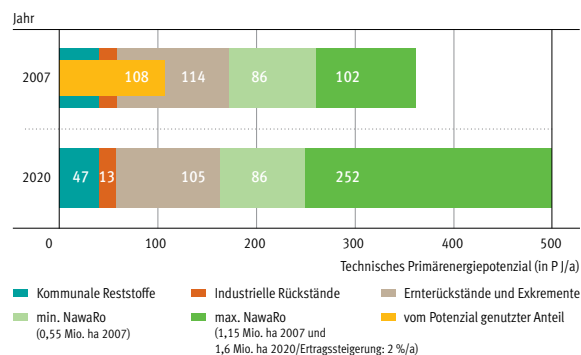


Quelle: KTBL (2011)

© FNR 2012

Weitere Erläuterungen unter Grafiken Biogas in mediathek.fnr.de

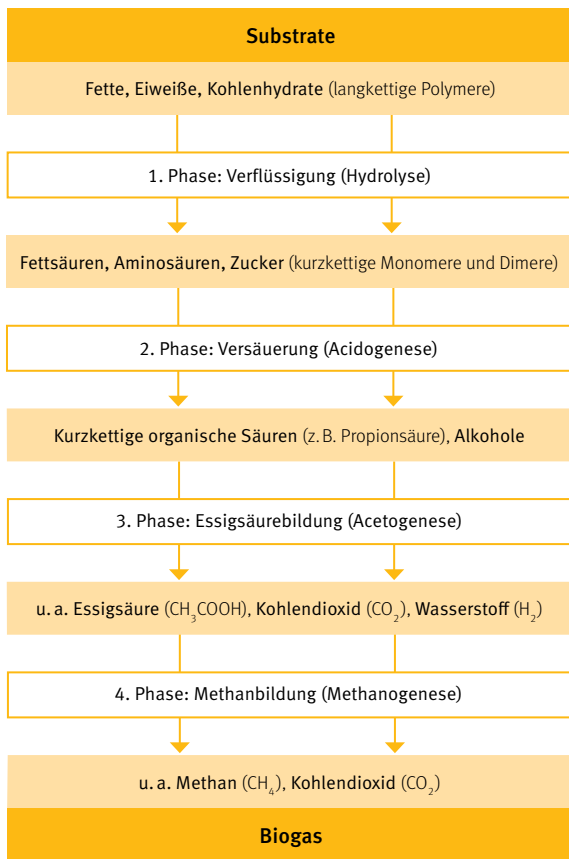
## Technisches Primärenergiepotenzial für Biogas



Quelle: IE, DBFZ (2009)

© FNR 2011

## Schematische Darstellung des Fermentationsprozesses



## Wichtige Prozessgrößen bei der Biogasproduktion

Benötigtes Fermentervolumen [m<sup>3</sup>]  
= tägl. Substratzugabe [m<sup>3</sup>/d] • mittlere Verweilzeit [d]

Hydraulische Verweilzeit [d]  
 $HRT = \frac{\text{Fermentervolumen [m}^3\text{]}}{\text{Substratzugabe [m}^3\text{/d]}}$

Raumbelastung [kg oTM/m<sup>3</sup> • d]  
 $B_R = \frac{\left( \frac{\text{zugeführte Substratmenge}}{\text{je Zeiteinheit [kg/d]}} \right) \cdot \left( \frac{\text{Konzentration}}{\text{org. Substanz [% oTM]}} \right)}{\text{Fermentervolumen [m}^3\text{]} \cdot 100}$

Trockenmasse [kg]  
TM = Frischmasse [kg] – Wasseranteil [kg]

organische Trockenmasse [kg]  
oTM = Trockenmasse [kg] – Rohasche [kg]

Biogasertrag [m<sup>3</sup>]  
= FM<sub>Substrat</sub> [t] • TM [%] • oTM [%] • Ertrag [m<sup>3</sup>/t oTM]

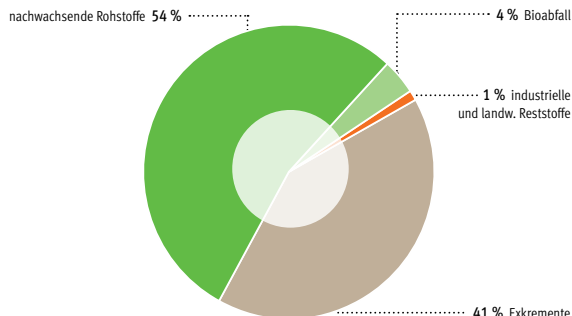
## Welchen Energiegehalt hat Biogas?

Der Energiegehalt korreliert mit dem Methananteil im Biogas. Dieser kann abhängig von 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 m<sup>3</sup> Biogas rund 5,5 kWh.

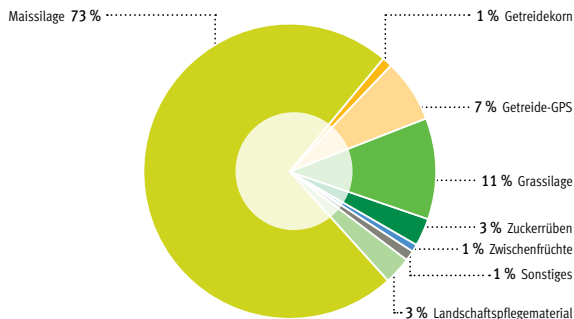
**Heizwert:** 5–7,5 kWh/m<sup>3</sup> (abhängig vom Methan-Gehalt)  
Durchschnitt: 6 kWh/m<sup>3</sup> bzw. 21,6 MJ/m<sup>3</sup>

**Heizöläquivalent:** 1 m<sup>3</sup> Biogas entspricht ca. 0,6 l Heizöl

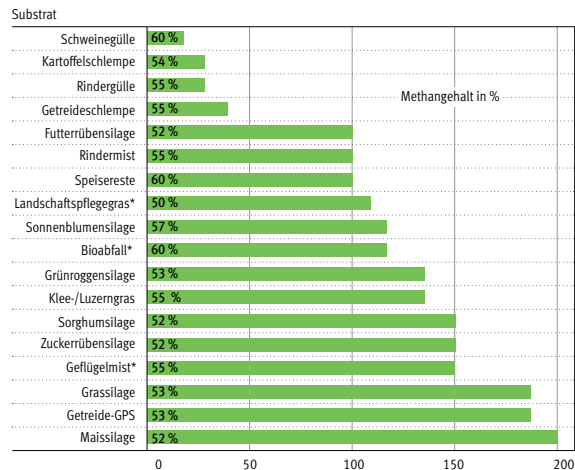
## Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen 2012



## Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen – Massebezogener Substrateinsatz 2012



## Gasausbeuten verschiedener Substrate



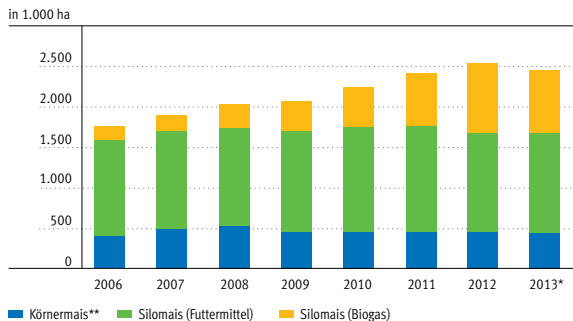
## Anbau von verschiedenen Energiepflanzen und deren theoretisches Strompotenzial (Angaben je Hektar)

| Energiepflanze | Ernteertrag [t FM] | Methanertrag [Nm³] | Stromertrag [kWh] | Anzahl Haushalte |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| Maissilage     | 50                 | 4.664              | 17.257            | 4,8              |
| Zuckerrüben    | 55                 | 3.960              | 14.652            | 4,1              |
| Getreide-GPS   | 40                 | 3.696              | 13.675            | 3,8              |
| Sudangras      | 55                 | 3.388              | 12.536            | 3,5              |
| Grassilage     | 36                 | 3.105              | 11.487            | 3,2              |

Quelle: FNR nach KTBL (2012)

Annahmen: mittleres Ertragsniveau, 12 % Lagerungsverluste (außer Zuckerrüben); BHKW-Wirkungsgrad 37 %; Stromverbrauch 3.600 kWh/a • Haushalt

## Entwicklung der Maisanbaufläche



\* Prognose; \*\* ca. 85 % Futtermittel, 6 % Industrie (Stärke), 5 % Energie (Ethanol), 3 % Verluste, 1 % Saatgut

Quelle: Stat. Bundesamt, DMK, ZMP, AFC, FNR

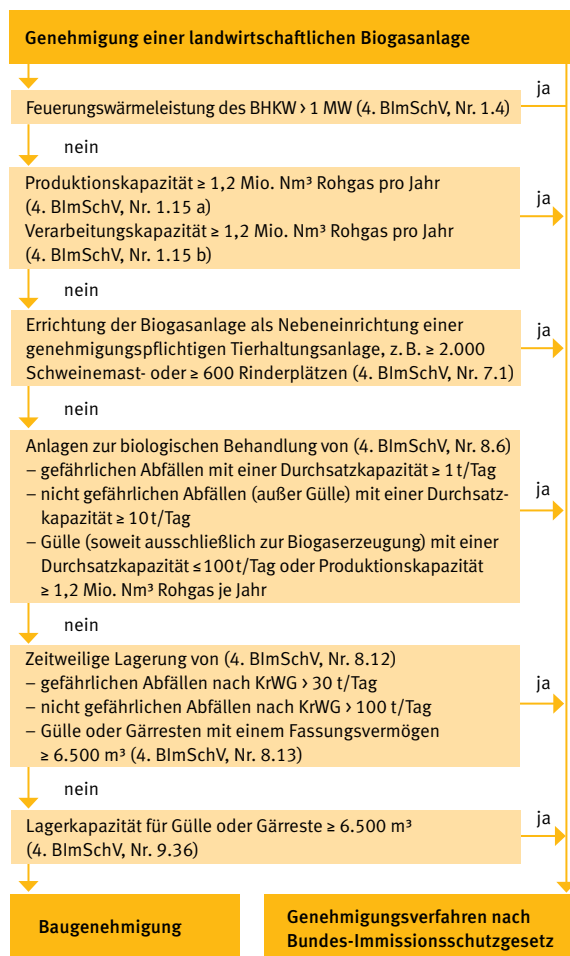
© FNR 2013

## Vorschriften für die Ausbringung von Gärrückständen

| Gärrückstand aus                                                        | Ausbringung auf hofeigenen Flächen  | Ausbringung auf fremden Flächen  |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Wirtschaftsdünger                                                       | DüV, KrWG, ggf. BioAbfV             | DüV, KrWG, ggf. BioAbfV, WDüngV  |
| Nachwachsenden Rohstoffen                                               | DüV                                 | DüV, DüMV                        |
| Pflanzlichen Abfällen aus dem Betrieb                                   | DüV                                 | DüV, DüMV                        |
| Bioabfällen nach BioAbfV und DüMV                                       | BioAbfV, DüV                        | BioAbfV, DüV, DüMV               |
| Speiseabfällen und anderen Stoffen nach EU 1069/2009                    | BioAbfV, TierNebG, DüV, EU 142/2011 | DüV, DüMV, TierNebG, EU 142/2011 |
| Klärschlamm und Wirtschaftsdünger oder Bioabfällen nach BioAbfV, Anh. 1 | AbfKlärV, DüV                       | AbfKlärV, DüV, DüMV              |

Quelle: aid infodienst e.V.

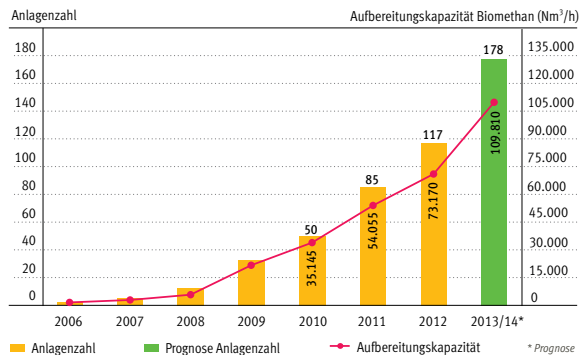
## Rechtliche Rahmenbedingungen



Quelle: FNR 2013

kein Anspruch auf Vollständigkeit

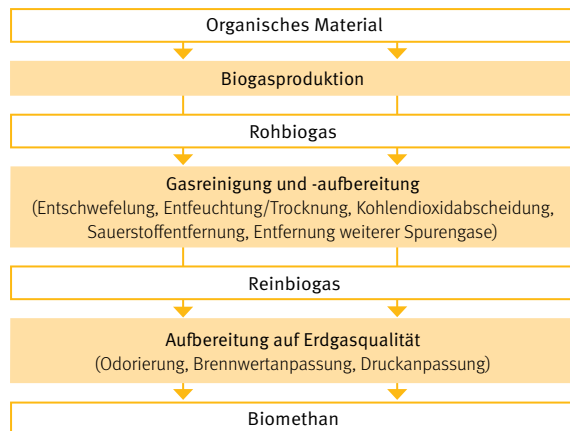
## Biogasanlagen zur Biomethan-Produktion



Quelle: FNR nach dena (Deutsche Energie-Agentur GmbH) (2013)

© FNR 2013

## Verfahrensschritte zur Biogasaufbereitung



## Kennwerte verschiedener Biogasaufbereitungsverfahren

|                                                  | Druckwechsel-<br>adsorption<br>PSA | Druckwasser-<br>wäsche<br>DWW | Physikalische<br>Absorption* | Chemische<br>Absorption* | Membranver-<br>fahren | Kryogene<br>Verfahren |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Strombedarf (kWh/Nm³)                            | 0,20–0,25                          | 0,20–0,30                     | 0,23–0,33                    | 0,06–0,15                | 0,18–0,25             | 0,18–0,33             |
| Wärmebedarf (kWh/Nm³)                            | 0                                  | 0                             | ~ 0,3                        | 0,5–0,8                  | 0                     | 0                     |
| Temperatur Prozesswärme (°C)                     | –                                  | –                             | 55–80                        | 110–160                  | –                     | –                     |
| Prozessdruck (bar)                               | 4–7                                | 5–10                          | 4–7                          | 0,1–4                    | 5–10                  |                       |
| Methanverlust (%)                                | 1–5                                | 0,5–2                         | 1–4                          | 0,1                      | 2–8                   |                       |
| Abgasnachbehandlung<br>notwendig? (EEG & GasNZV) | ja                                 | ja                            | ja                           | nein                     | ja                    | ja                    |
| Feinentschwefelung des<br>Rohgases notwendig?    | ja                                 | nein                          | nein                         | ja                       | empfohlen             | ja                    |
| Wasserbedarf                                     | nein                               | ja                            | nein                         | na                       | nein                  | nein                  |
| Chemikalienbedarf                                | nein                               | nein                          | ja                           | na                       | nein                  | nein                  |

Quelle: Fraunhofer IWES nach DWA (2011)

\* mit organischen Lösungsmitteln

## Faustzahlen

|                                             |                               |
|---------------------------------------------|-------------------------------|
| 1 m³ Biogas                                 | 5,0–7,5 kWh <sub>gesamt</sub> |
| 1 m³ Biogas                                 | 50–75 % Methangehalt          |
| 1 m³ Biogas                                 | 1,9–3,2 kWh <sub>el</sub>     |
| 1 m³ Biogas                                 | ca. 0,6 l Heizöl Äquiv.       |
| 1 m³ Methan                                 | 9,97 kWh <sub>gesamt</sub>    |
| 1 m³ Methan                                 | 3,3–4,3 kWh <sub>el</sub>     |
| 1 m³ Methan                                 | 1 l Heizöl Äquiv.             |
| BHKW Wirkungsgrad <sub>el</sub>             | 33–45 %                       |
| BHKW Wirkungsgrad <sub>th</sub>             | 35–56 %                       |
| BHKW Wirkungsgrad <sub>gesamt</sub>         | ca. 85 %                      |
| BHKW-Laufzeit                               | 7.900–8.200 Betriebsstunden/a |
| Mikrogasturbine Wirkungsgrad <sub>el</sub>  | 26–33 %                       |
| Brennstoffzellen Wirkungsgrad <sub>el</sub> | 40–55 %                       |
| Strombedarf Biogasanlage (BGA)              | 5–20 %                        |
| Wärmebedarf BGA                             | 5–25 %                        |
| Arbeitsbedarf BGA                           | 4–10 Akh/kW <sub>el</sub> • a |
| Optimaler FOS/TAC-Bereich                   | < 0,8                         |
| Foliendurchlässigkeit                       | 1–1,5 ‰ Biogas/Tag            |
| Betriebsstörungen BGA pro Jahr              | 1,2 je 10 kW <sub>el</sub>    |
| <b>Spezifische Investitionskosten</b>       |                               |
| BGA 75 kW <sub>el</sub>                     | ca. 9.000 €/kW <sub>el</sub>  |
| BGA 150 kW <sub>el</sub>                    | ca. 6.500 €/kW <sub>el</sub>  |
| BGA 250 kW <sub>el</sub>                    | ca. 6.000 €/kW <sub>el</sub>  |
| BGA bis 500 kW <sub>el</sub>                | ca. 4.500 €/kW <sub>el</sub>  |

|                                                                      |                                     |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| BGA 1 MW <sub>el</sub>                                               | ca. 3.500 €/kW <sub>el</sub>        |
| Biogasaufbereitungsanlage 500 Nm³/h                                  | ca. 7.500 €/Nm³ • h                 |
| ORC-Anlage 75 kW <sub>el</sub>                                       | ca. 4.000 €/kW <sub>el</sub>        |
| Mikrogasturbine 65 kW <sub>el</sub>                                  | ca. 2.000 €/kW <sub>el</sub>        |
| Kosten Biomethanproduktion 500 Nm³/h                                 | 7,8–8,4 ct/kWh                      |
| Kosten Biomethanproduktion 2.000 Nm³/h                               | 6,4–7,0 ct/kWh                      |
| <b>Biogaserträge in der Landwirtschaft</b>                           |                                     |
| Milchkuh: 20 m³ Gülle/a                                              | 500 Nm³ Biogas                      |
| Schwein: 1,5–6 m³ Gülle/a                                            | 42–168 Nm³ Biogas                   |
| Rind: 3–11 t Festmist/a                                              | 240–880 Nm³ Biogas                  |
| Pferd: 8 t Festmist/a                                                | 504 Nm³ Biogas                      |
| 100 Hühner: 1,8 m³ Trockenkot/a                                      | 252 Nm³ Biogas                      |
| Silomais: 40–60 t FM/ha*                                             | 7.040–10.560 Nm³ Biogas             |
| Zuckerrüben: 40–70 t FM/ha                                           | 5.200–9.100 Nm³ Biogas              |
| Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS): 30–50 t FM/ha*                    | 5.016–8.360 Nm³ Biogas              |
| Gras: 26–43 t FM/ha*                                                 | 4.118–6.811 Nm³ Biogas              |
| Beispiel jährlicher Substratbedarf Biogasanlage 350 kW <sub>el</sub> | 5.500 t Maissilage (125 ha)         |
|                                                                      | 3.000 t Rindergülle (150 Milchkühe) |
|                                                                      | 1.000 t Getreide-GPS (28,5 ha)      |

Quelle: FNR nach KTBL, Leitfaden Biogas, Fraunhofer-IWES, DBFZ

\* 12 % Silienerluste berücksichtigt

BIOERGIE

FESTBRENNSTOFFE

BIOKRAFTSTOFFE

BIOGAS

ANHANG

# ANHANG

## Vergütung für Biomasse-/Biogasanlagen (EEG 2012)

[in ct/kWh]

|                                          |                                                            | Vergütung ct/kWh   |                    |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                                          |                                                            | 2013 <sup>9</sup>  | 2014 <sup>9</sup>  |
| <b>Grundvergütung<sup>1,3</sup></b>      |                                                            |                    |                    |
|                                          | bis 150 kW <sub>el</sub>                                   | 14,01              | 13,73              |
|                                          | > 150 kW <sub>el</sub> bis 500 kW <sub>el</sub>            | 12,05              | 11,81              |
|                                          | > 500 kW <sub>el</sub> bis 5 MW <sub>el</sub> <sup>8</sup> | 10,78              | 10,56              |
|                                          | > 750 kW <sub>el</sub> bis 5 MW <sub>el</sub>              | 10,78              | 10,56 <sup>8</sup> |
|                                          | > 5 MW <sub>el</sub> bis 20 MW <sub>el</sub> <sup>8</sup>  | 5,88               | 5,76 <sup>8</sup>  |
| <b>Sondervergütung<sup>2</sup></b>       |                                                            |                    |                    |
|                                          | bis 75 kW <sub>el</sub>                                    | 24,50              | 24,01              |
| <b>Rohstoffvergütung<sup>3</sup></b>     |                                                            |                    |                    |
| Einsatzstoff-<br>vergütungskategorie I   | bis 500 kW <sub>el</sub>                                   | 6/6 <sup>4</sup>   | 6/6 <sup>4</sup>   |
|                                          | > 500 kW <sub>el</sub> bis 750 kW <sub>el</sub>            | 5/2,5 <sup>4</sup> | 5/2,5 <sup>4</sup> |
|                                          | > 750 kW <sub>el</sub> bis 5 MW <sub>el</sub>              | 4/2,5 <sup>4</sup> | 4/2,5 <sup>4</sup> |
| Einsatzstoff-<br>vergütungskategorie II  | bis 500 kW <sub>el</sub>                                   | 8                  | 8                  |
|                                          | > 500 kW <sub>el</sub> bis 5 MW <sub>el</sub>              | 8/6 <sup>5</sup>   | 8/6 <sup>5</sup>   |
| <b>Gasaufbereitungsbonus<sup>6</sup></b> |                                                            |                    |                    |
|                                          | bis 700 Nm <sup>3</sup>                                    | 2,94               | 2,88               |
|                                          | bis 1.000 Nm <sup>3</sup>                                  | 1,96               | 1,92               |
|                                          | bis 1.400 Nm <sup>3</sup>                                  | 0,98               | 0,96               |
| <b>Bioabfallvergärung<sup>7</sup></b>    |                                                            |                    |                    |
|                                          | bis 500 kW <sub>el</sub>                                   | 15,68              | 15,37              |
|                                          | > 500 kW <sub>el</sub> bis 20 MW <sub>el</sub>             | 13,72              | 13,45              |

Quelle: EEG 2012

Angaben sind rechtsunverbindlich

<sup>1</sup> einschließlich Wärmenutzungsverpflichtung, d. h. mindestens 60 % des in der Anlage erzeugten Stroms muss in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt werden und die Wärme muss gemäß Vorgaben von Anlage 2 des EEG genutzt werden – Ausnahmen: Anlagen mit ≥ 60 Masse % Gülleinsatz oder Teilnahme an der Direktvermarktung

<sup>2</sup> Güllekleinanlagen, Einsatz von ≥ 80 Masse % Gülle/Mist (ohne Geflügelmist/Hühnertrockenkot)

<sup>3</sup> Grund- und Rohstoffvergütung nur bei Einsatz von ≤ 60 Masse % Mais und Getreidekorn

<sup>4</sup> Rinden und Waldrestholz

<sup>5</sup> für Gülle/Mist 6 ct/kWh bei Anlagen > 500 kW bis 5 MW

<sup>6</sup> 700 Nm<sup>3</sup>/ha (ca. 2,8 MW<sub>el</sub>), 1.000 Nm<sup>3</sup>/ha (ca. 4,0 MW<sub>el</sub>), 1.400 Nm<sup>3</sup>/ha (ca. 5,5 MW<sub>el</sub>) – Voraussetzungen: Methanemissionen ≤ 2 %; Stromverbrauch Aufbereitung max. 0,5 kWh/Nm<sup>3</sup>; Prozesswärme zur Aufbereitung nicht aus zusätzlicher fossiler Energie

<sup>7</sup> ≥ 90 Masse % Bioabfälle gemäß Bioabfallverordnung, mit Einrichtung zur Nachrotte und stofflicher Verwertung der Gärreste

<sup>8</sup> ab 2014 für Neuanlagen > 750 kW<sub>el</sub> Vergütung nur noch über Direktvermarktung, dargestellte Vergütungssätze bilden Grundlage für Berechnung der Marktpremie

<sup>9</sup> jährliche Degression von 2 % auf Grundvergütung und Boni, nicht auf Rohstoffvergütung

## Marktberichte und Preise für Brennstoffe und Biomasse

|                           |                                                                                      |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Bioenergie                | <a href="http://mediathek.fnr.de">http://mediathek.fnr.de</a>                        |
| Biodiesel                 | <a href="http://www.ufop.de">www.ufop.de</a>                                         |
| Ölsaaten und Pflanzenöle  | <a href="http://www.oilworld.biz">www.oilworld.biz</a>                               |
| Hackschnitzel und Pellets | <a href="http://www.carmen-ev.de">www.carmen-ev.de</a>                               |
| Scheitholz                | <a href="http://www.tfz.bayern.de">www.tfz.bayern.de</a>                             |
| Pellets                   | <a href="http://www.depi.de">www.depi.de</a>                                         |
| Agrarsektor               | <a href="http://www.ami-informiert.de">www.ami-informiert.de</a>                     |
| Statistisches Bundesamt   | <a href="http://www.destatis.de">www.destatis.de</a>                                 |
| Heizöl/Rohöl              | <a href="http://www.tecson.de/oelweltmarkt.html">www.tecson.de/oelweltmarkt.html</a> |

## Umrechnung von Energieeinheiten

|             | MJ    | kWh   | m³ Erdgas |
|-------------|-------|-------|-----------|
| 1 MJ        | 1     | 0,278 | 0,032     |
| 1 kWh       | 3,6   | 1     | 0,113     |
| 1 kg SKE    | 29,31 | 8,14  | 0,924     |
| 1 kg RÖE    | 41,87 | 11,63 | 1,319     |
| 1 m³ Erdgas | 31,74 | 8,82  | 1         |

|           | m³     | l     | Barrel | Gallone |
|-----------|--------|-------|--------|---------|
| 1 m³      | 1      | 1.000 | 6,3    | 264     |
| 1 l       | 0,001  | 1     | 0,0063 | 0,26    |
| 1 Barrel  | 0,159  | 159   | 1      | 42      |
| 1 Gallone | 0,0038 | 3,79  | 0,0238 | 1       |

*SKE: Steinkohleeinheiten; RÖE: Rohöleeinheiten*

## Vorzeichen für Energieeinheiten

| Vorsatz | Vorsatzzeichen | Faktor           | Zahlwort  |
|---------|----------------|------------------|-----------|
| Deka    | Da             | 10               | Zehn      |
| Hekto   | h              | 10 <sup>2</sup>  | Hundert   |
| Kilo    | k              | 10 <sup>3</sup>  | Tausend   |
| Mega    | M              | 10 <sup>6</sup>  | Million   |
| Giga    | G              | 10 <sup>9</sup>  | Milliarde |
| Tera    | T              | 10 <sup>12</sup> | Billion   |
| Peta    | P              | 10 <sup>15</sup> | Billiarde |
| Exa     | E              | 10 <sup>18</sup> | Trillion  |

## Weitere Informationen

### Bioenergie

<http://bioenergie.fnr.de>

### Daten und Fakten zum Thema Bioenergie

<http://mediathek.fnr.de/grafiken.html>

### Wege zum Bioenergiedorf

[www.wege-zum-bioenergiedorf.de](http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de)

### Bioenergie-Regionen

[www.bioenergie-regionen.de](http://www.bioenergie-regionen.de)

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

### Bilder

Dr. H. Hansen, FNR

### Gestaltung/Realisierung

[www.tangram.de](http://www.tangram.de), Rostock

### Druck

[www.druckerei-weidner.de](http://www.druckerei-weidner.de), Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 469

FNR 2013

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

OT Gülzow, Hofplatz 1

18276 Gülzow-Prüzen

Tel.: 03843/6930-0

Fax: 03843/6930-102

[info@fnr.de](mailto:info@fnr.de)

[www.nachwachsende-rohstoffe.de](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de)

[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier  
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 469

FNR 2013