

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)**Brennwert  $H_o$ :**

Der Brennwert ist die auf die Brennstoffmenge bezogene Energie, die bei vollständiger Verbrennung frei wird, wenn das Abgas auf Bezugstemperatur (25°C) zurück gekühlt wird. Hierbei kondensiert der vom Brennstoff verursachte Wasserdampf und gibt seine Kondensationswärme ab.

**Heizwert  $H_u$ :**

Der Heizwert ist die auf die Brennstoffmenge bezogene Energie, die bei vollständiger Verbrennung frei wird, wenn das Abgas auf Bezugstemperatur (25 °C) zurück gekühlt wird, der Wasserdampf jedoch dampfförmig gedacht bleibt (also ohne Kondensationswärme).

 **$H_{u,n}$  und  $H_{o,n}$ :**

sind die auf das Normvolumen von 1 m<sup>3</sup> trockenem Gas (1013 hPa, 0 °C) bezogenen Werte.

**Analytik:**

In der Abfalltechnik wird der Brennwert  $H_o$  von der Trockensubstanz (TS), also von der wasserfreien Probe bestimmt als  $H_{o(wf)}$ .

$$H_{u(roh)} = H_{o(roh)} - k * F$$

mit:

$$H_{o(roh)} = H_{o(wf)} * (100 - WG) / 100$$

$$k = \text{Verdampfungswärme von Wasser bei } 25 \text{ °C} = 24,41 \text{ J/g}$$

$$F \approx WG$$

$$WG = \text{Wassergehalt}$$

$$H_{o(wf)} = \text{Wasserfreier Brennwert}$$

$$H_u(roh) = H_o(wf) * (100 - WG) / 100 - 24,41 * WG$$

**Beispiel:**

Heizwerte unterschiedlicher Abfallarten in kJ / kg alle Werte als Durchschnitt. Auf einzelne Stadtteile können erhebliche Abweichungen auftreten, je nach Siedlungsstruktur):

- Berlin ca. 8.000
- Rom ca. 7.600
- New York ca. 9.500
- Bangkok ca. 6.500
- Shanghai ca. 6.800
- Accra ca. 4.200
- Kathmandu ca. 3.700
- Paris ca. 8.500

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)**Berechnung aus der Zusammensetzung**

Eine Berechnung der Heizwerte kann aus der Zusammensetzung der Abfallstoffe errechnet werden. Hierzu können die Werte der Tabelle 1 herangezogen werden.

Mit den Daten zur Stoffgruppenverteilung und den Wassergehalten der Stoffgruppen in einer Grobfraktion läßt sich der Heizwert ( $H_{u, roh}$ ) unter Verwendung stoffspezifischer Heizwerte im wasserfreien Zustand ( $H_{u, wf}$ ) berechnen.

$$H_{u, roh, f} = \sum_{y=1}^j \left\langle \left\langle \left\langle \frac{H_{u, wf, y} * 100 - WG_{y, f}}{100} \right\rangle - k * WG_{y, f} \right\rangle * \frac{m_{y, f}}{100} \right\rangle$$

**mit:**

$H_{u, roh, f}$  gemischspezifischer Heizwert im Rohzustand der Grobfraktion f [ kJ/kg FS]

$H_{u, wf, y}$  Heizwert der wasserfreien Stoffgruppe y [kJ/kg TS]

$WG_{y, f}$  Wassergehalt der Stoffgruppe y in der Grobfraktion f [Gew.-% (FS)]

k Spezifische Verdampfungswärme von Wasser bei 25 °C (2,441 [kJ/kg])

$m_{y, f}$  Massenanteil der Stoffgruppe y in der Grobfraktion f [Gew.-% (FS)]

j Anzahl der Stoffgruppen y in der Grobfraktion f [ - ]

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung verschiedener Abfallkomponenten

|    | Art<br>[ 1 ]                        | Wasser<br>[ 2 ] | Flüchtige<br>Stoffe<br>[ 3 ] | Fix C<br>[ 4 ] | Asche | Heizwert<br>H <sub>B</sub> | Bezogen auf<br>brennbare Substanz |       | Verhältnis<br>[ 3 ] zu [ 4 ] | Chemische Zusammensetzung bezogen auf wasserfreie Substanz |      |       |      |      |       |                            |
|----|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|-------|----------------------------|-----------------------------------|-------|------------------------------|--|------|-------|------|------|-------|----------------------------|
|    |                                     |                 |                              |                |       |                            | Flüchtige<br>Stoffe               | Fix C |                              | C  | H    | O     | N    | S    | Asche | Heizwert<br>H <sub>B</sub> |
|    |                                     |                 |                              |                |       |                            |                                   |       |                              |  |      |       |      |      |       |                            |
| 1  | Zeitungen                           | 5,97            | 81,12                        | 11,48          | 1,43  | 18.547,52                  | 87,60                             | 12,40 | 7,06                         | 49,14  | 6,10 | 43,03 | 0,05 | 0,16 | 1,52  | 19.761,70                  |
| 2  | Packpapier                          | 5,83            | 83,92                        | 9,24           | 1,01  | 16.893,74                  | 90,10                             | 9,90  | 9,08                         | 44,90  | 6,08 | 47,84 | 0,00 | 0,11 | 1,07  | 17.961,37                  |
| 3  | Zeitschriften                       | 4,11            | 66,39                        | 7,03           | 22,47 | 11.806,78                  | 90,40                             | 9,60  | 9,44                         | 32,91  | 4,95 | 38,55 | 0,07 | 0,09 | 23,43 | 12.748,81                  |
| 4  | Wellpappe                           | 5,20            | 77,47                        | 12,27          | 5,06  | 16.391,32                  | 46,30                             | 13,70 | 6,31                         | 73,73  | 5,70 | 44,93 | 0,09 | 0,21 | 5,34  | 17.270,55                  |
| 5  | Kunststoffbeschi-<br>chtetes Papier | 4,71            | 84,20                        | 8,45           | 2,64  | 17.082,14                  | 90,90                             | 9,10  | 9,96                         | 45,30  | 6,17 | 45,50 | 0,18 | 0,08 | 2,77  | 17.919,50                  |
| 6  | Gewachste<br>Milchtüten             | 3,45            | 90,92                        | 4,46           | 1,17  | 26.314,04                  | 95,30                             | 4,70  | 20,40                        | 59,18  | 9,25 | 30,13 | 0,12 | 0,10 | 1,22  | 27.277,00                  |
| 7  | Lebensmittel-<br>Kartons            | 6,11            | 75,59                        | 11,80          | 6,50  | 16.893,74                  | 86,50                             | 13,50 | 6,40                         | 44,74  | 6,10 | 41,92 | 0,15 | 0,16 | 6,93  | 18.003,24                  |
| 8  | Altpapier                           | 4,56            | 73,32                        | 9,03           | 13,09 | 14.172,32                  | 89,00                             | 11,00 | 8,12                         | 37,87  | 5,41 | 42,74 | 0,17 | 0,09 | 13,72 | 14.863,14                  |
| 9  | Gemüseabfälle                       | 78,29           | 17,10                        | 3,55           | 1,06  | 4.144,93                   | 82,80                             | 17,20 | 4,81                         | 49,06  | 6,62 | 37,55 | 1,68 | 0,20 | 4,89  | 19.301,15                  |
| 10 | Zitruschalen,<br>Kork               | 78,70           | 16,55                        | 4,01           | 0,74  | 3.977,46                   | 80,50                             | 19,50 | 4,12                         | 47,96  | 5,68 | 41,67 | 1,11 | 0,12 | 3,46  | 18.694,06                  |
| 11 | Gekochte<br>Fleischabfälle          | 38,74           | 56,34                        | 1,81           | 3,11  | 17.731,10                  | 96,90                             | 3,10  | 31,10                        | 59,59  | 9,47 | 24,65 | 1,02 | 0,19 | 5,08  | 28.888,92                  |

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)

|    | Art<br>[ 1 ]            | Wasser<br>[ 2 ] | Flüchtige<br>Stoffe<br>[ 3 ] | Fix C<br>[ 4 ] | Asche | Heizwert<br>H <sub>B</sub> | Bezogen auf<br>brennbare Substanz |       | Verhältnis<br>[ 3 ] zu [ 4 ] | Chemische Zusammensetzung bezogen auf wasserfreie Substanz |       |       |      |      |       |           |
|----|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|-------|----------------------------|-----------------------------------|-------|------------------------------|--|-------|-------|------|------|-------|-----------|
|    |                         |                 |                              |                |       |                            |                                   |       |                              |  |       |       |      |      |       |           |
| 12 | Fette                   | 0,00            | 97,64                        | 2,36           | 0,00  | 38.267,35                  | 97,60                             | 2,40  | 41,40                        | 73,14  | 11,54 | 14,82 | 0,43 | 0,07 | 0,00  | 38.267,35 |
| 13 | Lederschuhe             | 7,46            | 57,14                        | 14,26          | 21,16 | 16.851,87                  | 80,00                             | 20,00 | 4,00                         | 42,01  | 5,32  | 22,83 | 5,98 | 1,00 | 22,86 | 18.191,65 |
| 14 | Sohlen, Absätze         | 1,15            | 67,03                        | 2,08           | 29,74 | 25.351,07                  | 97,00                             | 3,00  | 32,25                        | 53,22  | 7,09  | 7,76  | 0,50 | 1,34 | 30,09 | 25.623,22 |
| 15 | Staubsauger-<br>Abfälle | 5,47            | 55,68                        | 8,51           | 30,34 | 14.863,14                  | 86,70                             | 13,30 | 6,54                         | 35,69  | 4,73  | 20,08 | 6,26 | 1,15 | 32,09 | 15.700,50 |
| 16 | Parkabfälle<br>(Äste)   | 69,00           | 25,18                        | 5,01           | 0,81  | 6.280,20                   | 83,40                             | 16,60 | 5,02                         | 48,51  | 6,54  | 40,44 | 1,71 | 0,19 | 2,61  | 20.347,85 |
| 17 | Fichten                 | 74,35           | 20,70                        | 4,13           | 0,82  | 5.673,11                   | 83,30                             | 16,70 | 5,01                         | 53,30  | 6,66  | 35,17 | 1,49 | 0,20 | 3,18  | 22.210,97 |
| 18 | Blumenabfälle           | 53,94           | 35,64                        | 8,08           | 2,34  | 7.661,84                   | 81,50                             | 18,50 | 4,41                         | 46,65  | 6,61  | 40,18 | 1,21 | 0,26 | 5,09  | 18.694,06 |
| 19 | Gras                    | 75,24           | 18,64                        | 4,50           | 1,62  | 4.793,89                   | 80,50                             | 19,50 | 4,14                         | 46,18  | 5,96  | 36,43 | 4,46 | 0,42 | 6,55  | 19.384,88 |
| 20 | Laub                    | 9,97            | 66,92                        | 19,29          | 3,82  | 18.547,52                  | 77,60                             | 22,40 | 3,47                         | 52,15  | 6,11  | 30,34 | 6,99 | 0,16 | 4,25  | 20.640,92 |

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)

Tabelle 2 Beispiele diverser Brennstoffe

| Brennstoff oder Energieträger | Dichte | Einheit der Dichte | Heizw. kWh/kg | Brennw. kWh/kg | CO <sub>2</sub> aus Verbrenng. kg/kg Brst. | CO <sub>2</sub> aus Gewinnng. u. Transp. kg/kg Brst. | CO <sub>2</sub> aus Verbrenng. kg/kWh (Heizw.) | CO <sub>2</sub> aus Gewinnng. u. Transp. kg/kWh | Anmerkungen   | Gehalt C in Gew.-% | Gehalt H in Gew.-% |
|-------------------------------|--------|--------------------|---------------|----------------|--|--|--|---|---|--------------------|--------------------|
| El. Strom                     | -      | -                  | -             | -              | -  | -  | -  | 0,71  |   | -                  | -                  |
| Erdgas                        | 0,75   | kg/Nm <sup>3</sup> | 14,2          |                | 2,5  | 0,26   | 0,20   | 0,02  | regionale Unterschiede; i.D.: Gasfaktor = 10,6 kWh/Nm <sup>3</sup> ; z.B. Harz, 8,9 kWh/Nm <sup>3</sup> | 69                 | 22,4               |
| Heizöl EL                     | 0,85   | kg/l               | 11,5          | 12,3           | 3,2  | 0,28   | 0,27   | 0,02  |   | 86                 | 13,3               |
| Propangas                     |        |                    | 12,9          | 14,0           |  | 0,77   | 0,23   | 0,06  |   |                    |                    |
| Butangas                      |        |                    | 12,7          | 13,8           |  | 0,76   | 0,24   | 0,06  |   |                    |                    |
| Steinkohle                    |        |                    | 8,2           |                | 2,8  | 0,22   | 0,34   | 0,03  |   | 77                 | 4,6                |
| Braunkohle                    |        |                    | 5,5           |                | 1,9  | 0,17   | 0,35   | 0,03  | Briketts  | 52                 | 4                  |
| Koks                          |        |                    | 7,7           |                | 2,6  | 0,29   | 0,39   | 0,04  | Steinkohlenkoks   | 70                 | 4,3                |
| Laubholz                      | 480    | kg/Rm              | 4,1           |                | 1,4  | 0,01   | 0,36   | 0,002   | gut durchgetrocknet, ca. 15% Wassergeh.   |                    |                    |
| Nadelholz                     | 300    | kg/Rm              | 4,3           |                | 1,5  | 0,01   | 0,36   | 0,002   | gut durchgetrocknet, ca. 15% Wassergeh.   |                    |                    |
| Holzbricketts                 |        |                    | 5,3           |                | 1,5  |  | 0,36   |   |   |                    |                    |
| Holzhackschn.                 | 230    | kg/Sm <sup>3</sup> | 3,2           |                | 1,5  |  | 0,33   |   |   |                    |                    |
| Holzpellets                   | 650    | kg/Sm <sup>3</sup> | 4,9           |                | 1,5  |  | 0,36   |   |   |                    |                    |
| Biogas                        | 1,15   | kg/Nm <sup>3</sup> | 5,6           |                | 1,7  | 0,08   | 0,30   | 0,014   | unterschiedliche Werte  | 46                 | 10                 |

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier &amp; Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)

| Brennstoff<br>oder<br>Energieträger | Dichte | Einheit<br>der<br>Dichte | Heizw.<br>kWh/kg | Brennw.<br>kWh/kg | CO <sub>2</sub> aus<br>Verbrenng.<br>kg/kg Brst. | CO <sub>2</sub> aus<br>Gewinnng.<br>u. Transp.<br>kg/kg Brst. | CO <sub>2</sub> aus<br>Verbrenng.<br>kg/kWh<br>(Heizw.) | CO <sub>2</sub> aus<br>Gewinnng.<br>u. Transp.<br>kg/kWh | Anmerkungen                                  | Gehalt C<br>in Gew.-% | Gehalt H<br>in Gew.-% |
|-------------------------------------|--------|--------------------------|------------------|-------------------|--|---|---|--|--|-----------------------|-----------------------|
| <b>Benzin</b>                       | 0,74   | kg/l                     | 11,8             | 12,8              | 3,2  | 0,70  | 0,26  | 0,06   |  | 86                    | 14                    |
| <b>Diesel</b>                       | 0,85   | kg/l                     | 11,6             | 12,4              | 3,2  | 0,34  | 0,28  | 0,03   |  | 86                    | 13                    |
| <b>Flüssiggas</b>                   |        |                          | 12,9             | 14,0              |  | 0,77  | 0,23  | 0,06   | = Propangas                                  |                       |                       |
| <b>Erdgas</b>                       | 0,75   | kg/Nm <sup>3</sup>       | 14,2             |                   | 2,5  | 0,26  | 0,20  | 0,02   | "Autogas"                                    | 69                    | 22,4                  |
| <b>Biodiesel</b>                    | 0,88   | kg/l                     | 10,3             |                   | 2,8  | 1,11  | 0,27  | 0,11   |  | 77                    | 12                    |
| <b>Methanol</b>                     | 0,79   | kg/l                     | 5,42             | 6,2               | 1,38   |   | 0,255   |  |  | 37,5                  | 12,5                  |
| <b>Ethanol</b>                      | 0,79   | kg/l                     | 7,50             |                   | 1,91   | 1,26  | 0,255   | 0,168  | = Ethylalkohol, "Alkohol" /<br>aus Vergärung | 52,2                  | 13                    |
| <b>Wasserstoff</b>                  | 0,09   | kg/Nm <sup>3</sup>       | 33,3             | 39,5              | 1,4  |   | 0,00  |  |  |                       | 100                   |
| <b>Eiche</b>                        | 680    | kg/Fm                    | 4,9              | 5,3               |  | 0,01  | 0,43  | 0,002  | absol. trocken, 58,5% C                      | 58                    | 5,1                   |
| <b>Buche</b>                        | 680    | kg/Fm                    | 4,9              | 5,3               |  | 0,01  | 0,36  | 0,002  | absol. trocken, 47,9% C                      | 48                    | 6,2                   |
| <b>Fichte</b>                       | 430    | kg/Fm                    | 5,2              | 5,6               |  | 0,01  | 0,35  | 0,002  | absol. trocken, 49,7% C                      | 50                    | 6,3                   |
| <b>Kiefer</b>                       | 510    | kg/Fm                    | 5,2              | 5,6               |  | 0,01  | 0,38  | 0,002  | absol. trocken, 53,2% C                      | 53                    | 5,9                   |

**Heizwertberechnung**

Prof. Dr.-Ing. habil W. Bidlingmaier & Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | [www.orbit-online.net](http://www.orbit-online.net)

**Quellen:**

D'Ans-Lax: Taschenb. f. Chem. u. Phys., Springer Verl. 1967

GEMIS Versionen 3.0 und 2.1, Öko-Institut, Darmstadt

Castorph, Kollera, Waas; FH München: Technische Thermodynamik (Internet)  
biz