

Heizwertberechnung

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

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | 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 m³ 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 & Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | 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 & Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | www.orbit-online.net

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung verschiedener Abfallkomponenten

	Art [1]	Wasser [2]	Flüchtige Stoffe [3]	Fix C [4]	Asche	Heizwert H _B	Bezogen auf brennbare Substanz		Verhältnis [3] zu [4]	Chemische Zusammensetzung bezogen auf wasserfreie Substanz						
							Flüchtige Stoffe	Fix C		C	H	O	N	S	Asche	Heizwert H _B
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- 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 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- 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, 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 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 & Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | www.orbit-online.net

	Art [1]	Wasser [2]	Flüchtige Stoffe [3]	Fix C [4]	Asche	Heizwert H _B	Bezogen auf brennbare Substanz		Verhältnis [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- 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 (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 & Dr.-Ing. Christian Springer

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | www.orbit-online.net

Tabelle 2 Beispiele diverser Brennstoffe

Brennstoff oder Energieträger	Dichte	Einheit der Dichte	Heizw. kWh/kg	Brennw. kWh/kg	CO ₂ aus Verbrenng. kg/kg Brst.	CO ₂ aus Gewinnng. u. Transp. kg/kg Brst.	CO ₂ aus Verbrenng. kg/kWh (Heizw.)	CO ₂ aus Gewinnng. u. Transp. kg/kWh	Anmerkungen	Gehalt C in Gew.-%	Gehalt H in Gew.-%
El. Strom	-	-	-	-	-	-	-	0,71		-	-
Erdgas	0,75	kg/Nm ³	14,2		2,5	0,26	0,20	0,02	regionale Unterschiede; i.D.: Gasfaktor = 10,6 kWh/Nm ³ ; z.B. Harz, 8,9 kWh/Nm ³	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.		
Holz briketts			5,3		1,5		0,36				
Holz hackschn.	230	kg/Sm ³	3,2		1,5		0,33				
Holz pellets	650	kg/Sm ³	4,9		1,5		0,36				
Biogas	1,15	kg/Nm ³	5,6		1,7	0,08	0,30	0,014	unterschiedliche Werte	46	10

Heizwertberechnung

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

Projekt Orbit | Dr. W. Bidlingmaier | Bauhaus Universität Weimar | www.orbit-online.net

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

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