





Der Energieinhalt von Holz und seine Bewertung

Wer mit Holz heizt, heizt seiner Wohnung, aber nicht dem Klima ein. Holz als nachwachsender Rohstoff hilft, endliche Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas einzusparen. Holzheizungen tragen dazu bei, die Emission von fossilem Kohlendioxid zu verringern und den vom Menschen verschärften Treibhauseffekt einzudämmen. Doch wieviel Wärme steckt tatsächlich in einem Festmeter Fichte, einem Ster Buche oder in einem Kubikmeter Hackschnitzel aus Pappelholz?

Wir haben die wichtigsten Umrechnungszahlen und Abrechnungsmöglichkeiten zusammengestellt.

Die Energieträger Holz, Heizöl und Erdgas im Vergleich

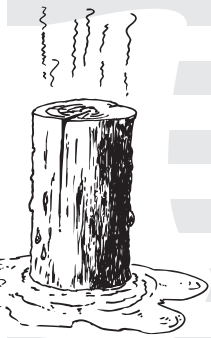
Energieträger	Holz		Heizöl	Erdgas
Zustand	fest Scheitholz 	fest Hackschnitzel 	flüssig 	gasförmig 
Energieinhalt in kWh	10 kWh		10 kWh	10 kWh
Gewicht in kg	2,5 kg (lufttrocken)		0,860 kg	0,840 kg
Volumen in Liter	5 Liter	12,5 Liter	1 Liter	1000 Liter
in m ³	0,005 Kubikmeter	0,0125 Kubikmeter	0,001 Kubikmeter	1 Kubikmeter

10 kWh Energie reichen beispielsweise aus, um 860 Liter Wasser um 10 °C zu erwärmen.

Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Heizwert

Der Heizwert je Gewichtseinheit hängt nicht von der unterschiedlichen Dichte der Holzarten ab. Entscheidend ist der Anteil des Wassers an der Gesamtmasse, der Wassergehalt. Nadelholz weist aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung einen geringfügig höheren Heizwert je kg auf als Laubholz.

Wassergehalt in %	Heizwert in kWh/kg	
	Nadelholz	Laubholz
0	5,20	5,00
5	4,91	4,72
10	4,61	4,43
15	4,32	4,15
20	4,02	3,86
25	3,73	3,58
30	3,44	3,30
35	3,14	3,01
40	2,85	2,73
45	2,55	2,44
50	2,26	2,16
55	1,97	1,88
60	1,67	1,59



Wie kann ich den Heizwert bei bestimmten Wassergehalten selbst berechnen?

Bei der Verbrennung von Holz verdampft zunächst das enthaltene Wasser. Die dazu benötigte Energie beträgt 0,68 kWh je kg Wasser (Verdampfungswärme). Zieht man die für die Verdampfung des Wassers benötigte Energie von der in der verbleibenden Trockenmasse enthaltenen Energie ab, errechnet sich der Heizwert.

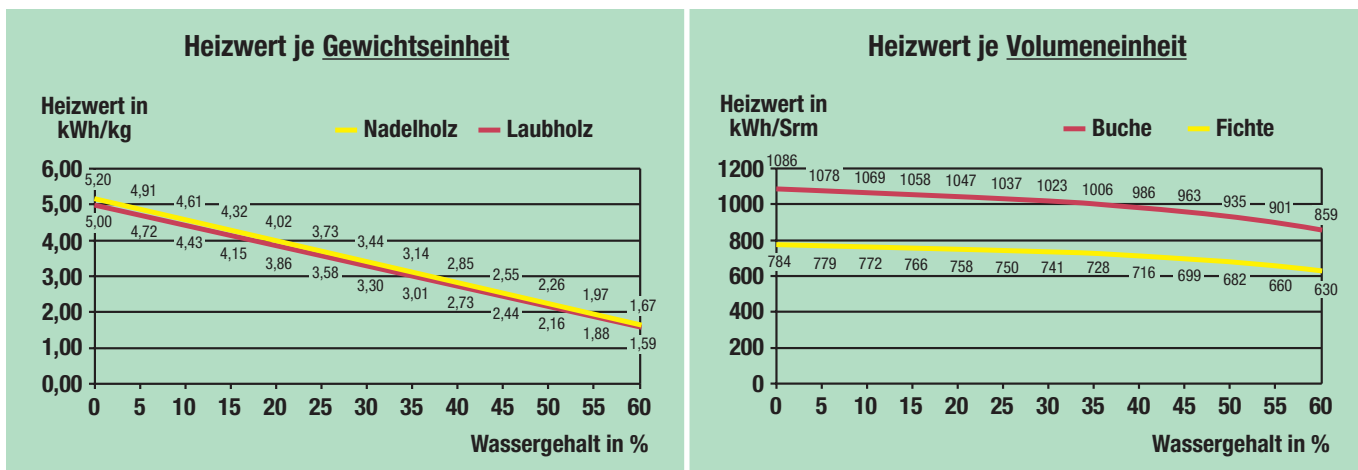
$$\text{Heizwert der Trockenmasse} - \text{Verdampfungswärme des Wasseranteils} = \text{Heizwert}$$

Beispiel:

Der Heizwert je kg bei 30 % Wassergehalt beträgt:
 $(70 \% \times 5 \text{ kWh}) - (30 \% \times 0,68 \text{ kWh}) = 3,3 \text{ kWh}$

Überschlägig liegt der Heizwert von absolut trockenem Holz (Wassergehalt 0 %) bei 5 kWh/kg. Lufttrockenes Holz (Wassergehalt 15 – 20 %) besitzt einen durchschnittlichen Heizwert von 4 kWh/kg, frisch geschlagenes Holz (Wassergehalt 50 % und mehr) von 2 kWh/kg.

Im Gegensatz zum **Heizwert je Gewichtseinheit** verringert sich der **Heizwert je Volumeneinheit** bei steigendem Wassergehalt nur wenig. Dagegen treten die Unterschiede bei Baumarten mit verschiedenen Dichten wie Fichte und Buche deutlich hervor.



Beispiel: Der Heizwert von einem Festmeter, Raummeter oder Schüttraummeter Holz mit Wassergehalt 50 % (waldfrisch) liegt nur 15 % niedriger als der von luftgetrocknetem Holz (Wassergehalt 15 %). Bezogen auf das Gewicht beträgt der Unterschied mit 2 statt 4 kWh je kg dagegen 50 %! Der Heizwert der Buche je Volumeneinheit liegt aufgrund ihrer hohen Dichte gegenüber der Fichte ein Drittel höher, je Gewichtseinheit aber 5 % tiefer!

Verhältniszahlen der Raummaße

1 Festmeter (fm) = 1,4 Raummeter/Ster (rm) = 2,5 Schüttraummeter (Srm) Hackschnitzel

Rundholz in Festmeter (fm)	Schichtholz in Ster oder Raummeter (rm)	Hackschnitzel in Schüttraummeter (Srm)
1 fm 	1,4 rm 	2,5 Srm
0,7 fm 	1 rm 	1,8 Srm
0,4 fm 	0,6 rm 	1 Srm

Die Angaben zu Raummeter und Schüttraummeter verstehen sich als Anhaltswerte. Raummeter gelten für aufgesetztes Holz. Der Umrechnungsfaktor auf Festmeter schwankt in Abhängigkeit von der Stückgröße und der Sorgfalt beim Aufsetzen. Schüttraummeter variieren je nach Größe, Homogenität und Verdichtung der Hackschnitzel.

Heizwerttabelle für verschiedene Baumarten

Die Volumeneinheiten **fm**, **rm** und **Srm** gelten für das Holz, wie es im Wald anfällt, unabhängig vom Wassergehalt. Der Volumenschwund, der bei Trocknung unter 25 % Wassergehalt (Fasersättigungspunkt) beginnt, wird in der Heizwerttabelle *nicht* berücksichtigt.

Wassergehalt in %		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Baumart / Dichte ¹⁾	Maßeinheit	Heizwert in kWh												
Fichte 379 kg TM/fm	kg	5,20	4,91	4,61	4,32	4,02	3,73	3,44	3,14	2,85	2,55	2,26	1,97	1,67
	fm	1971	1957	1942	1925	1906	1885	1860	1832	1799	1760	1713	1656	1584
	rm	1380	1370	1360	1348	1334	1319	1302	1282	1259	1232	1199	1159	1109
	Srm	788	783	777	770	763	754	744	733	720	704	685	662	634
Kiefer 431 kg TM/fm	kg	5,20	4,91	4,61	4,32	4,02	3,73	3,44	3,14	2,85	2,55	2,26	1,97	1,67
	fm	2241	2226	2209	2189	2168	2144	2116	2083	2046	2001	1948	1883	1802
	rm	1569	1558	1546	1533	1518	1500	1481	1458	1432	1401	1364	1318	1261
	Srm	896	890	883	876	867	857	846	833	818	801	779	753	721
Buche 558 kg TM/fm	kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	fm	2790	2770	2748	2723	2695	2664	2627	2586	2537	2480	2411	2326	2221
	rm	1953	1939	1923	1906	1887	1864	1839	1810	1776	1736	1687	1628	1555
	Srm	1116	1108	1099	1089	1078	1065	1051	1034	1015	992	964	930	888
Eiche 571 kg TM/fm	kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	fm	2855	2835	2812	2786	2758	2726	2689	2646	2596	2537	2467	2380	2273
	rm	1999	1984	1968	1951	1931	1908	1882	1852	1817	1776	1727	1666	1591
	Srm	1142	1134	1125	1115	1103	1090	1075	1058	1038	1015	987	952	909
Pappel 353 kg TM/fm	kg	5,00	4,72	4,43	4,15	3,86	3,58	3,30	3,01	2,73	2,44	2,16	1,88	1,59
	fm	1765	1752	1738	1723	1705	1685	1662	1636	1605	1569	1525	1472	1405
	rm	1236	1227	1217	1206	1193	1179	1163	1145	1123	1098	1067	1030	983
	Srm	706	701	695	689	682	674	665	654	642	627	610	589	562

1) Werte in kg Trockenmasse (TM) je fm ohne Berücksichtigung von Trockenschwund (Raumdichte, nach KOLLMANN 1982)

Ablesebeispiele: Frisch geerntete Fichte (Wassergehalt 50 %) hat einen Heizwert von 1.199 kWh je Ster (rm). Trocknet man diesen Ster Fichtenholz auf Wassergehalt 15 %, dann steigt der Heizwert auf 1.348 kWh. Umgerechnet entspricht dieser Heizwert etwa 135 Litern Heizöl, da 1 Liter Heizöl 10 kWh Energie enthält.

Bei Wassergehalt 30 % enthält 1 Srm Fichtenhackschnitzel 744 kWh, die Buche liegt mit 1.051 kWh deutlich höher.

Gleichgewichtspreise nach Energieinhalt zu Heizöl

Die folgende Tabelle zeigt, wie viel Holz bezogen auf den Energieinhalt theoretisch wert ist, wenn es mit Heizöl verglichen wird. Der mittlere Heizölpreis der Jahre 2002/2003 für private Haushalte lag bei 0,35 € je Liter.

Heizölpreis in € je Liter	Energiepreis in Cent je kWh	Theoretischer Holzpreis nach Energieinhalt für Buche			
		€ je t Trockenmasse	€ je fm	€ je rm	€ je Srm
0,10	1,0	50	28	20	11
0,15	1,5	75	42	29	17
0,20	2,0	100	56	39	22
0,25	2,5	125	70	49	28
0,30	3,0	150	84	59	33
0,35	3,5	175	98	68	39
0,40	4,0	200	112	78	45
0,45	4,5	225	126	88	50
0,50	5,0	250	140	98	56
0,55	5,5	275	153	107	61
0,60	6,0	300	167	117	67



Bezogen auf den Energieinhalt kosten Holzbrennstoffe meist deutlich weniger als Heizöl. Dies trifft besonders für Hackschnitzel zu. Allerdings erfordert eine Hackschnitzelheizung auch höhere Investitionen als eine Ölheizung.

Preisermittlung

– nach Volumen:

Wenn Baumart und Wassergehalt bekannt und konstant sind, ist es ausreichend genau, mit einem festen Preis je Volumeneinheit (z.B. 12 €/Srm) abzurechnen. Besteht das Energieholz aus mehr als einer Baumart oder schwankt der Wassergehalt stark, ist das Volumenmaß ein unzureichender Ausgangswert für die Preisermittlung.

– nach Gewicht und Wassergehalt:

Wassergehalt in %	Heizwert in kWh/kg	Korrekturfaktor ¹⁾ (Wassergehalt 30 % entspricht 1,00)	Vergütung ²⁾ in € je Tonne
0	5,00	1,52	76
5	4,72	1,43	72
10	4,43	1,34	67
15	4,15	1,26	63
20	3,86	1,17	59
25	3,58	1,09	54
30	3,30	1,00	50
35	3,01	0,91	46
40	2,73	0,83	41
45	2,44	0,74	37
50	2,16	0,66	33
55	1,88	0,57	28
60	1,59	0,48	24



1) Der Korrekturfaktor verhält sich proportional zum Heizwert. 2) Grundvergütung beispielsweise 50 €/t bei Wassergehalt 30 %

Die Abrechnung von Hackschnitzeln nach Gewicht und Wassergehalt orientiert sich am Energieinhalt des Holzes und bringt, korrekt ausgeführt, gute Ergebnisse. Voraussetzung ist, dass das Gewicht der angelieferten Hackschnitzel sowie der Wassergehalt möglichst genau ermittelt werden.

– nach produzierter Wärmemenge:

Beispiel 1: Fichte	Beispiel 2: Buche
Vorgabe: Fichtenhackschnitzel mit Wassergehalt 30 % Bereitstellungskosten: 12 €/Srm	Vorgabe: Vereinbarter Preis nach Wärmemenge von 2 Cent/kWh Buchenhackschnitzel, Wassergehalt 30 %
Berechnung:	Berechnung:
Energieinhalt je Srm (aus Umrechnungstabelle) 744 kWh/Srm	Jahresnutzungsgrad des Heizkessels 80 %
Preis nach Energieinhalt (= 12 / 744) 1,6 Cent/kWh	Preis nach Energieinhalt (= 2 x 0,8) 1,6 Cent/kWh
Jahresnutzungsgrad des Heizkessels 80 %	Energieinhalt je Srm (aus Umrechnungstabelle) 1051 kWh/Srm
Preis je kWh nach Wärmemenge (= 1,6/0,8) 2 Cent/kWh	Rechnerischer Preis etwa (= 1051 x 0,016) 17 €/Srm
> Bei Bereitstellungskosten von 12 €/Srm könnte die produzierte Wärmemenge für 2 Cent/kWh angeboten werden.	> Die Abrechnung mit 2 Cent/kWh produzierter Wärmemenge ermöglicht im Beispiel eine Vergütung von 17 €/Srm.

Nach Wärmemenge lässt sich einfach abrechnen. Allerdings verursacht die exakte Einschätzung des Jahresnutzungsgrades des Heizkessels Probleme. Als Anhaltswert für einen gut ausgelasteten Holzheizkessel können 80 % angenommen werden, d.h. der am Wärmemengenzähler abgelesene Wert entspricht etwa 80 % der ursprünglich im Holz enthaltenen Energie. Diese kann nie vollständig als Nutzwärme an das Wärmenetz abgegeben werden, weil unter anderem mit den über den Kamin austretenden Rauchgasen Wärme verloren geht.

Grundsätzlich weist Holz als Naturstoff veränderliche Dichten und Wassergehalte auf und damit unterschiedliche Heizwerte. Dies gilt es bei allen Kalkulationen und Abrechnungen zu beachten.

Impressum:

Herausgeber und Bezugsadresse:
Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)
Am Hochanger 11, 85354 Freising
Tel./Fax: +49-8161-71-48 81
E-Mail: poststelle@fo-lwf.bayern.de
Internet: www.lwf.uni-muenchen.de

Verantwortlich: Olaf Schmidt,
Präsident der LWF
Redaktion: Dr. Alexandra Wauer, LWF
Bearbeiter: Christoph Baudisch,
Stefan Wittkopf, LWF
Bildnachweis: alle Bilder LWF
Auflage: 20.000

Zur Bereitstellung und Lagerung von Hackschnitzeln informieren die LWF-Merkblätter 10 und 11. Weitere Informationen zur energetischen Nutzung von Holz finden Sie auch in mehreren Berichten der LWF, die Sie über unser Internetangebot einsehen, ausdrucken oder bestellen können.