

4 Kennwerte für Kraftstoffe

4.6 Energiegehalt

- Der Energiegehalt, der in 1 kg eines Kraftstoffes enthalten ist, wird bei der Verbrennung in Form von Wärme freigesetzt.
- Der **Brennwert** H_s (veraltet *kalorischer Brennwert* oder *oberer Heizwert* H_o) ist ein Maß für die spezifisch je Bemessungseinheit in einem Stoff enthaltene thermische Energie.
- Der Brennwert ist identisch mit der *Standardverbrennungsenthalpie* $\Delta_v H^\circ$ der allgemeinen Thermodynamik.
- Der *Brennwert eines Brennstoffes* gibt die Wärmemenge an, die **bei Verbrennung und anschließender Abkühlung der Verbrennungsgase auf 25 °C sowie deren Kondensation** freigesetzt wird.
- Der Brennwert berücksichtigt sowohl die notwendige Energie zum Aufheizen der Verbrennungsluft und der Abgase als auch die Verdampfungs- bzw. Kondensationswärme von Flüssigkeiten, insbesondere Wasser.
- Einheit: (kJ/kg, MJ/kg, J/g, veraltet kcal/kg)

Standardbedingungen

- 1) Sowohl die Temperatur des Brennstoffes und des Oxidators vor dem Verbrennen als auch die Temperatur der Verbrennungsprodukte beträgt 25°C .
- 2) Die Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff und Schwefel als Kohlendioxid und Schwefeldioxid liegen im gasförmigen Zustand vor.
- 3) Stickstoff liegt nach der Verbrennung als N_2 vor.
- 4) Das vor dem Verbrennen an den Brennstoff gebundene Wasser und das beim Verbrennen der wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffs gebildete Wasser nach der Verbrennung liegt vollständig im flüssigem Zustand vor.

Standardbedingungen

Heizwert H_i (früher unterer Heizwert H_u)

- 1) Sowohl die Temperatur des Brennstoffes und des Oxidators vor dem Verbrennen als auch die Temperatur der Verbrennungsprodukte beträgt 25°C .
- 2) Die Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff und Schwefel als Kohlendioxid und Schwefeldioxid liegen im gasförmigen Zustand vor.
- 3) Stickstoff liegt nach der Verbrennung als N_2 vor.
- 4) Das vor dem Verbrennen an den Brennstoff gebundene Wasser und das beim Verbrennen der wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffs gebildete Wasser liegt nach der Verbrennung in dampfförmigem Zustand bei 25°C vor.

Die Differenz zwischen Brennwert H_o und Heizwert H_u ist folglich gleich der Verdampfungsenthalpie des Wassers. Die Verdampfungsenthalpie des Wassers bei 25°C beträgt 2442 kJ/kg .

Bei technischen Feuerungsanlagen entweicht im allgemeinen das gesamte Wasser dampfförmig, so dass für solche Prozesse der Heizwert H_u die maßgebende Brennstoffkenngröße ist.

- Gewöhnlich wird der Brennwert auf kalorimetrisch (Messplatz Kalorimeter) nach DIN 51900 Teil 1 bis 3 bestimmt
- H_u kleiner als der Brennwert (H_o)
- H_u lässt sich aus dem Brennwert mit Hilfe der Verdampfungsenthalpie des Wassers berechnen (s. Tabelle):
- r = spezif. Verdampfungswärme des Wassers bei $25^\circ\text{C} = 2,442 \text{ kJ/g}$
- W_{Wasser} = der Quotient aus der Masse des H_2O , dass bei der Brennstoffelementaranalyse gebildet wird und der Masse des zugrunde gelegten Brennstoffes

$$H_u = H_o - r \cdot W_{\text{Wasser}}$$

Brennstoff	Elemetaranalyse					Ho [kJ/kg]	
	C	H	O	S	N	berechnet	Experimentell bestimmt
Holzkohle	91,0	2,0	7,0	-	-	32481	33034
Braunkohlenkoks	90,96	2,76	4,58	1,30	0,4	34137	34122
Hüttenkoks	97,0	0,56	0,59	0,7	1,0	33668	3335

Quelle: www.roempp.com

Energiegehalt

- Statistische Untersuchungen haben ergeben, dass das Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis mit guter Näherung als Funktion der Dichte angesehen werden kann → der Heizwert H_u lässt sich bezogen auf wasser- und aschefreies Produkt als Funktion von Dichte bei 15°C und Schwefelgehalt mittels einer einfachen Berechnungsgleichung bestimmen:

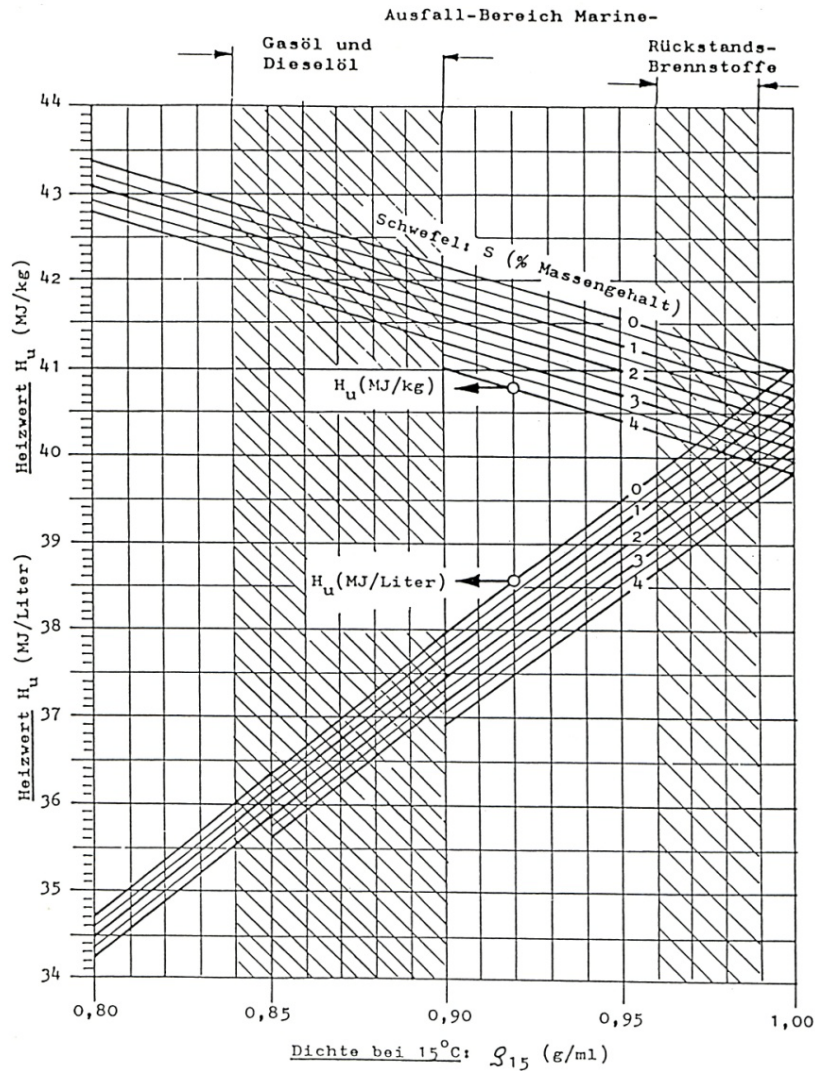
$$H_u = 52,919 - 11,930 \cdot \rho_{15} - 0,293 \cdot S \text{ (MJ/kg)}$$

- Hierbei ist die Dichte bei 15°C in g/ml und der Schwefelgehalt S in %
- Die Differenz zwischen Brennwert und Heizwert beträgt für Marine-Brennstoffe durchschnittlich 6,5 %

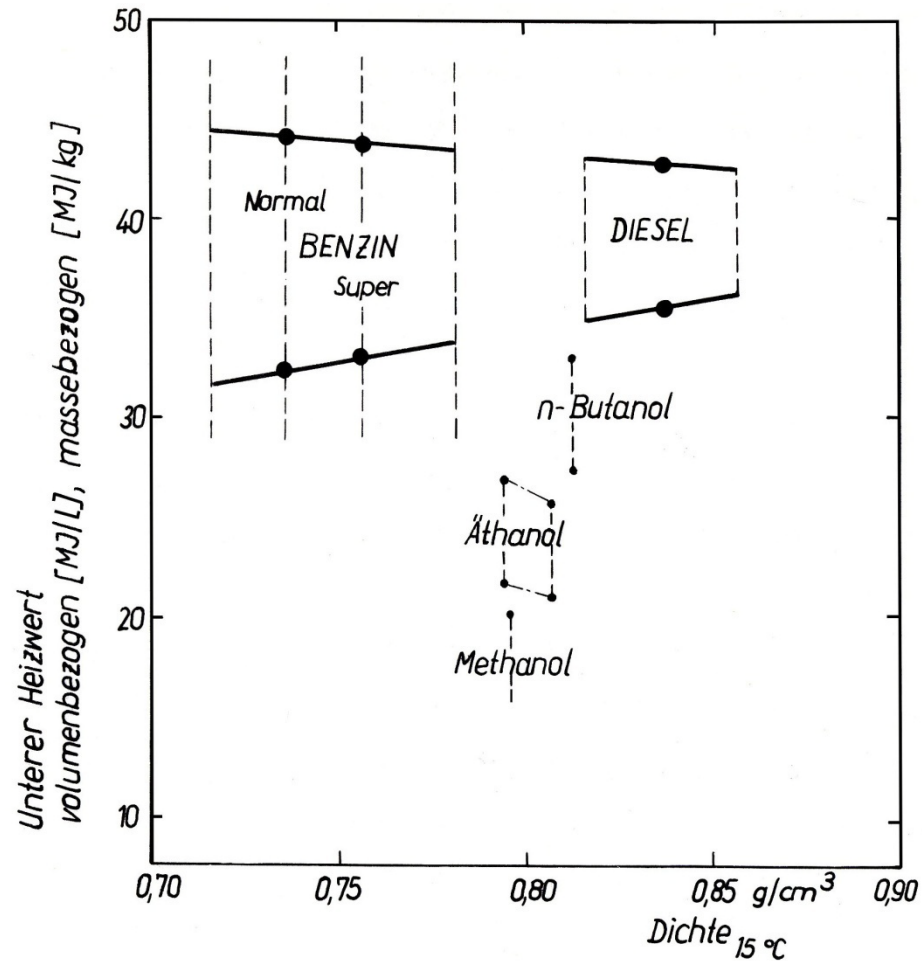
Quelle: www.roempp.com

Heizwerte flüssiger Kraft- bzw. Brennstoffe

Kraftstoff	Dichte kg/l	Verbrennungswärme kcal/kg	Unterer Heizwert kcal/kg	Liter-Heizwert kcal/l	Energievolumen cm ³ /1000 kcal	Energiegewicht g/1000 kcal
Benzin	0,730	11 000	10 400	7 600	132	96
Motorenbenzol	0,875	10 000	9 600	8 400	119	104
Dieselmotorenkraftstoff	0,840-0,880	10 900-10 800	10 300-10 100	8 700-8 900	115-112	97-99
Petroleum	0,830	10 500	10 000	8 300	120	100
Heizöl	0,9-1,1	10 300-10 000	9 900-9 600	8 900-10 500	112-95	101-104
Marine Diesel Fuel	0,92-0,98	10 400-10 200	9 800-9 600	9 000-9 400	111-107	102-104
Bunker C- Öl	0,960-1,050	~ 10 200	~ 9 600	9 100-10 000	110-100	104
Turbinenpetroleum	0,750-0,850	11 000-10 800	10 400-10 200	7 800-8 700	128-115	96-98
Äthanol	0,790	7 100	6 400	5 100	196	156
Methanol	0,800	5 330	4 650	3 700	270	214
Braunkohlenteeröl	0,85-1,05	10 400-10 000	9 900-9 400	8 400-9 900	119-100	100-106
Steinkohlenteeröl	1,00-1,10	9 500-8 500	9 200-8 200	9 200-9 000	109-111	109-122



Graphische Ermittlung
des Heizwertes H_u



Massen- und volumenbezogene untere Heizwerte von Benzin, Dieselkraftstoff, Methanol, Äthanol und Butanol

- Flüssigkeits-Kalorimeter-System der Fa. IKA
- Kalorimeter besteht aus einem abgeschlossenen dickwandigen Stahlgefäß (kalorimetrische Bombe)
- in der Bombe wird eine genau abgewogene Menge einer festen oder flüssigen Substanz nach Zündung durch einen elektrischen Glühdraht in Sauerstoff von 30–35 bar Druck verbrannt
- Während der Verbrennung taucht die Bombe in eine abgemessene Wassermenge ein
- die Verbrennungswärme des verbrannten Brennstoffs wird an das Wasser abgegeben und ruft dort eine messbare Temperatur-Erhöhung hervor → daraus wird die freigewordene Wärmemenge bestimmt
- Wärmekapazität des Kalorimetersystems muss unter identischen Bedingungen mit einer Bezugssubstanz (z.B. Benzoesäure) ermittelt werden
- Diese Messmethode ist in der Forschung (Schwerölforschung, Pyrolyseölforschung), bei der technischen Prüfung von Kraft- und Brennstoffen (Heizöle, Kohle), Qualitätsbestimmung, Ermittlung thermodynamischer Daten von Substanzen und Reaktionen (Thermodynamik) von Nutzen

Kalorimetrische Bombe nach DIN 51708

