

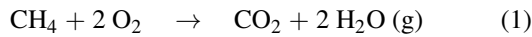
# Heiz- und Brennwerte

**Die Verwechslung von Heiz- und Brennwert kann zu Missverständnissen führen. Diese Dokument zeigt auf, wie die Werte zustande kommen und welchen Einfluss sie auf die Berechnung eines Wirkungsgrades haben.**

Der Heizwert (früher: unterer Heizwert) und der Brennwert (früher: oberer Heizwert) eines Stoffes entsprechen dem Betrag seiner chemischen Standardverbrennungsenthalpie, das heisst, seiner Reaktionsenthalpie bei Reaktion mit Sauerstoff bei Standardbedingungen (25 °C, 100 000 Pa). Ist das Wasser als Reaktionsprodukt gasförmig, spricht man vom Heizwert, ist es flüssig, spricht man vom Brennwert. Im Folgenden wird die Verbrennung von Methan und die Verbrennung von Wasserstoff betrachtet.

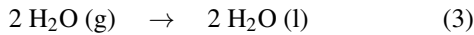
## Verbrennung von Methan (CH<sub>4</sub>)

Bei Standardbedingungen gilt:



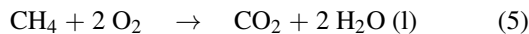
$$\Delta H = -802 \text{ kJ/mol} \quad (2)$$

Die Kondensation von Wasser setzt zusätzliche Wärme frei:



$$\Delta H = -88 \text{ kJ/mol} \quad (4)$$

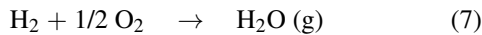
Für den Brennwert ergibt sich:



$$\Delta H = -890.4 \text{ kJ/mol} \quad (6)$$

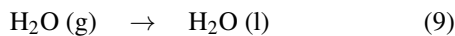
## Verbrennung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

Die gleiche Betrachtung für Wasserstoff liefert als Heizwert:



$$\Delta H = -241.8 \text{ kJ/mol} \quad (8)$$

Die Kondensation von Wasser setzt zusätzliche Wärme frei:



$$\Delta H = -44.0 \text{ kJ/mol} \quad (10)$$

Für den Brennwert ergibt sich:



$$\Delta H = -285.8 \text{ kJ/mol} \quad (12)$$

	Heizwert in kWh/kg	Brennwert in kWh/kg
Wasserstoff	33.3	39.4
Methan	13.9	15.4

Tabelle 1: Massenspezifische Heiz- und Brennwerte bei Standardbedingungen

	Heizwert in kWh/m <sup>3</sup>	Brennwert in kWh/m <sup>3</sup>
Wasserstoff	3.00	3.54
Methan	9.94	11.03

Tabelle 2: Volumenspezifische Heiz- und Brennwerte bei Standardbedingungen, Gasvolumen bei Normbedingungen (0 °C, 101 325 Pa)

## Spezifische Heiz- und Brennwerte

Mit den Molaren Massen von H<sub>2</sub> (2.016 g/mol) und CH<sub>4</sub> (16.04 g/mol) können die spezifischen Heiz- und Brennwerte berechnet werden, welche in den Tabellen 1 und 2 dargestellt sind.

Abbildung 1 zeigt den Heiz- und Brennwert eines Methan-Wasserstoff-Gasgemischs in Abhängigkeit der Wasserstoffkonzentration. Die relativen Heiz- und Brennwerte bezogen auf das Gasgemisch sind in Abbildung 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei einer Mischung mit 2 % Wasserstoff dieser nur 0.61 % zum volumenspezifischen Heizwert beiträgt. Bei 15 % Wasserstoff sind es 5.1 %.

## Wirkungsgradberechnung

Aus Tabelle 1 lässt sich der Wirkungsgrad der Methanisierungsreaktion (Gleichung 13) berechnen. Für den Wirkungsgrad bezogen auf den Heizwert ergibt sich 82.8 % und für den Wirkungsgrad bezogen auf den Brennwert 77.9 %.



Es zeigt sich, dass gleichzeitig mit einem Umwandlungswirkungsgrad eines Stoffes in einen anderen, auch angegeben werden muss, worauf sich der Wirkungsgrad bezieht. Dies gilt auch für Wirkungsgradangaben bei Umwandlung von elektrischen Leistungen in Enthalpieströme oder umgekehrt.

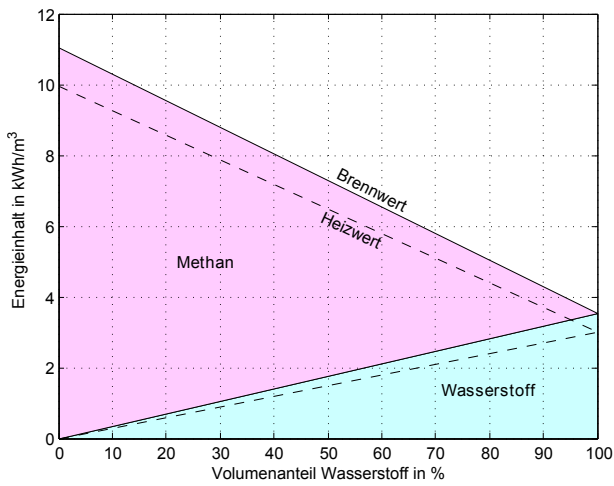


Abbildung 1: Volumenspezifische Heiz- und Brennwerte (Standardbedingungen) für ein Methan-Wasserstoff-Gasgemisch. Gasvolumen bei Normbedingungen.

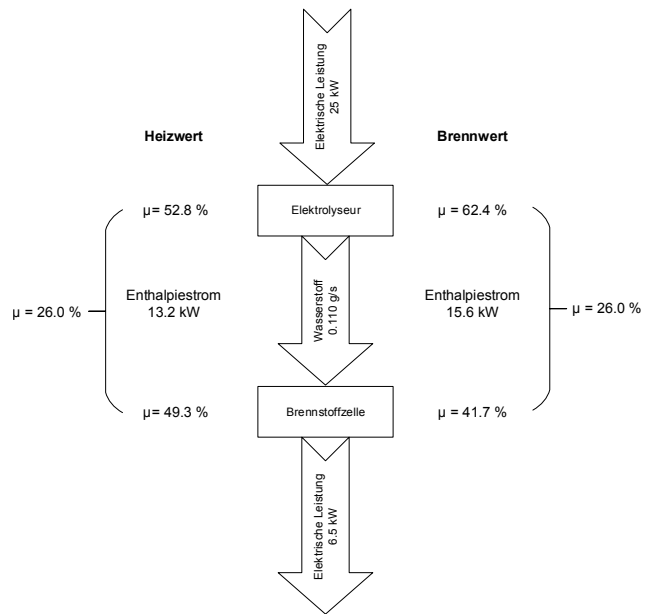


Abbildung 3: Unterschiede in der Wirkungsgradberechnung.

Abbildung 3 verdeutlicht diese Aussage. Mittels elektrische Leistung wird in einer Elektrolyse ein Wasserstoffstrom erzeugt, der in einer Brennstoffzelle wieder zu elektrischer Leistung gewandelt wird. Elektrolyse und Brennstoffzelle produzieren Verluste. Die Effizienz der Umwandlung lässt sich mit einem Wirkungsgrad  $\mu$  quantifizieren. Dieser ist davon abhängig, ob beim Wasserstoffstrom der Heiz- oder der Brennwert verwendet wird. Für den Gesamtwirkungsgrad (elektrische Leistung zu elektrischer Leistung) spielt die Betrachtungsweise keine Rolle. Das Produkt der einzelnen Wirkungsgrade der beiden Pfade gibt das gleiche Resultat von 26 %.

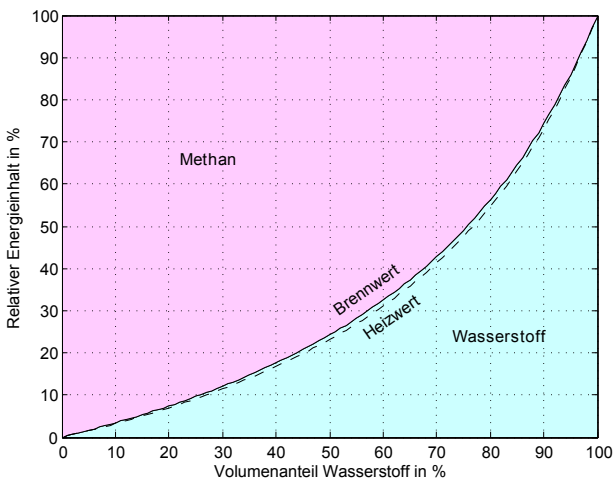


Abbildung 2: Relativer Heizwert von Wasserstoff im Gasgemisch.