

Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase
**Berechnung von Brennwert, Heizwert, Dichte,
relativer Dichte und Wobbeindex
von Gasen und Gasgemischen**

DIN
51857

ICS 71.100.20; 75.160.30

Deskriptoren: gasförmiger Brennstoff, Gas, Berechnung, Gasgemisch

Ersatz für
DIN 51850 : 1980-04
und
DIN 51858 : 1982-11

Gaseous fuels and other gases —
Calculation of calorific value, density, relative density
and Wobbe index of pure gases and gas mixtures
Combustibles gazeux et autres gaz —
Calcul du pouvoir calorifique, de la masse volumique,
de la densité relative et de l'indice de Wobbe
des gaz et mélanges gazeux

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuß NMP 622/FABERG "Anforderungen an und Prüfung von Brenngasen" im Normenausschuß Materialprüfung (NMP) in Zusammenarbeit mit dem Fachausschuß Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des NMP und den Normenausschüssen Bergbau (FABERG) und Gastechnik (NAGas) im DIN ausgearbeitet.

Die Festlegungen in dieser Norm stimmen mit denen der Internationalen Norm ISO 6976 : 1996 im wesentlichen überein.

Daher werden in dieser Norm auch die bei ISO gebräuchlichen Formelzeichen verwendet. Und zwar:

H_i inferior calorific value (unterer Heizwert);

H_s superior calorific value (oberer Heizwert).

Die Benennungen "oberer" und "unterer Heizwert" wurden im Deutschen Normenwerk durch die Benennungen "Brennwert" und "Heizwert" abgelöst. Als Formelzeichen wurden bisher H_o und H_u verwendet. H_o ist aus dem Begriff "oberer Heizwert" und H_u aus dem Begriff "unterer Heizwert" entstanden. Für eine Übergangszeit werden daher die Formelzeichen H_u und H_o bzw. H_i und H_s parallel verwendet. Bei den nächsten Überarbeitungen der anderen Normen des NMP werden auch diese an die Internationale Schreibweise angepaßt.

Anhang A, Anhang B und Anhang C sind informativ.

Änderungen

Gegenüber DIN 51850 : 1980-04 und DIN 51858 : 1982-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Die Stoffdatensammlung in DIN 51850 wurde auf der Grundlage der Festlegungen in der Internationalen Norm ISO 6976 : 1996 überarbeitet und auf einen Satz von Basisdaten reduziert, aus denen die übrigen Stoffdaten berechnet werden können. Die hierfür geltenden Gleichungen werden angegeben. Entsprechend den Festlegungen in dieser Internationalen Norm werden Brennwert und Heizwert auf die Verbrennung in Luft anstelle von reinem gasförmigen Sauerstoff bezogen.
- Die Rechenverfahren in DIN 51858 wurden auf der Grundlage der Festlegungen in der Internationalen Norm ISO 6976 : 1996 überarbeitet. Hierbei wurde zur Berechnung volumenbezogener Größen nur das Verfahren A der DIN 51858 beibehalten, das von der molaren Zusammensetzung des Gasgemisches (in Stoffmengenanteilen der Bestandteile) ausgeht. Das Verfahren B, das von der volumetrischen Zusammensetzung (in Volumenanteilen der Bestandteile) ausgeht, entfällt.

Frühere Ausgaben

DIN 1872: 1936-08

DIN 51850: 1962-10, 1980-04

DIN 51858: 1982-11

Fortsetzung Seite 2 bis 12

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Fachausschuß Mineralöl- und Brennstoffnormung (FAM) des NMP im DIN
Normenausschuß Bergbau (FABERG) im DIN
Normenausschuß Gastechnik (NAGas) im DIN

1 Anwendungsbereich

Diese Norm behandelt Stoffwerte für Gase und Gasgemische, die in der Verbrennungstechnik wichtig sind. Der Brennwert und der Heizwert geben Aufschluß über die bei der vollständigen Verbrennung freiwerdenden Wärmemengen. Der Wobbeindex ist eine Kenngröße für die Austauschbarkeit der Gase für Gasverbrauchseinrichtungen. Für die in dieser Norm aufgeführten Gase werden Datensätze angegeben, aus denen die betreffenden Stoffwerte entweder unmittelbar entnommen oder nach bekannten Beziehungen, die ebenfalls in dieser Norm enthalten sind, berechnet werden können.

Für Gasgemische mit den in dieser Norm aufgeführten Bestandteilen werden Verfahren zur Berechnung der Stoffwerte aus der molaren Zusammensetzung angegeben. Die hierfür erforderlichen Stoffwerte der Bestandteile sind in den in dieser Norm angegebenen Datensätzen enthalten.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 1304-1

Formelzeichen — Allgemeine Formelzeichen

DIN 1343

Referenzzustand, Normzustand, Normvolumen — Begriffe und Werte

DIN 1345

Thermodynamik — Grundbegriffe

E DIN 1871

Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase — Dichte und andere volumetrische Größen

DIN 51896-1

Gasanalyse — Zusammensetzungsgrößen, Realgasfaktor — Grundlagen

DIN 51896-2

Gasanalyse — Zusammensetzungsgrößen, Realgasfaktor — Teil 2: Anwendung

ISO 6976: 1996

Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition

[1] K. S. Pitzer und R. F. Curl jr.: The Volumetric and Thermodynamic Properties of Fluids. III. Empirical Equation for the Second Virial Coefficient J. Amer. Chem. Soc. **79**, 2369-2370 (1957)

[2] TRC Thermodynamic Tables, Thermodynamic Research Center, Texas A&M University, College Station, Texas. CH₄ (1985), O₂ (1985), CO₂ (1984)

[3] VDI-Wärmeatlas; Berechnungsblätter für den Wärmeübergang Hrsg. Verein Deutscher Ingenieure, 6. Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf (1991)

3 Allgemeines

Brennwert und Heizwert eines Gases sind gegeben durch den negativen Wert der Reaktionsenthalpie, die bei der Verbrennung des Gases unter konstantem Druck auftritt. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Temperatur der Reaktionsprodukte nach der Verbrennung gleich der Temperatur

der an der Reaktion teilnehmenden Komponenten vor der Verbrennung ist. Der Unterschied zwischen Brennwert und Heizwert ist bedingt durch den Aggregatzustand (flüssig oder gasförmig) des Verbrennungsproduktes Wasser (H₂O).

In der Praxis werden Brennwert und Heizwert verwendet als

- molare Größe, bezogen auf die Stoffmenge;
- massenbezogene Größe, bezogen auf die Masse;
- volumenbezogene Größe, bezogen auf das Volumen

des betreffenden Gases oder Gasgemisches.

Diese Größen werden in dieser Norm behandelt.

ANMERKUNG: Massenbezogene Größen wurden früher häufig als spezifische Größen bezeichnet.

Die Wobbeindizes berechnen sich aus dem volumenbezogenen Brennwert bzw. Heizwert eines Gases durch Verknüpfung mit der relativen Dichte.

Für den Brennwert und Heizwert muß die Bezugstemperatur für die Verbrennung angegeben werden. Für die Dichte und die relative Dichte ist der Bezugszustand anzugeben, in dem sich das Gasvolumen befindet.

4 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Definitionen:

4.1 Brennwert

Die unter gegebenen Bedingungen bei vollständiger Verbrennung eines trockenen Gases in Luft freiwerdende Wärme, wenn als Verbrennungsprodukte lediglich Kohlenstoffdioxid CO₂ (gasförmig), Wasser H₂O (**flüssig**), Stickstoff N₂ (gasförmig) und Schwefeldioxid SO₂ (gasförmig) auftreten.

ANMERKUNG: Für den molaren Brennwert, den massenbezogenen Brennwert und den volumenbezogenen Brennwert werden in dieser Norm die Formelzeichen H_{sm} , H_s und H_{sv} verwendet (s superior).

4.2 Heizwert

Die unter gegebenen Bedingungen bei vollständiger Verbrennung eines trockenen Gases in Luft freiwerdende Wärme, wenn als Verbrennungsprodukte lediglich CO₂ (gasförmig), H₂O (**gasförmig**), N₂ (gasförmig) und SO₂ (gasförmig) auftreten.

ANMERKUNG: Für den molaren Heizwert, den massenbezogenen Heizwert und den volumenbezogenen Heizwert werden in dieser Norm die Formelzeichen H_{im} , H_i und H_{iv} verwendet (i inferior).

4.3 Dichte

Der Quotient aus der Masse eines Gases und dem Volumen, welches das Gas im gegebenen Zustand einnimmt.

ANMERKUNG: Für die Dichte wird das Formelzeichen ρ verwendet.

4.4 Relative Dichte

Der Quotient aus der Dichte eines Gases und der Dichte trockener Luft bei gleicher Temperatur und gleichem Druck.

ANMERKUNG 1: Die molare Zusammensetzung trockener Luft ist in Abschnitt 11 angegeben.

ANMERKUNG 2: Für die relative Dichte wird das Formelzeichen d verwendet.

4.5 Wobbeindex

Der Quotient aus dem volumenbezogenen Brennwert bzw. dem volumenbezogenen Heizwert und der Quadratwurzel aus der relativen Dichte des Gases.

ANMERKUNG: Für den aus dem volumenbezogenen Brennwert gebildeten Wobbeindex wird das Formelzeichen W_{sv} verwendet, für den aus dem volumenbezogenen Heizwert gebildeten Wobbeindex das Formelzeichen W_{iv} .

5 Bezugszustände

5.1 Allgemeines

Für die Ermittlung des Brennwertes und die Errechnung des Heizwertes werden identische Zustandsbedingungen (Druck p_b , Temperatur T_b) für das Gas vor der Verbrennung sowie für die Verbrennungsprodukte festgelegt.

Außer dem so definierten Bezugszustand (T_b, p_b) für die Verbrennung muß für die volumenbezogenen Größen zusätzlich der Bezugszustand (T_v, p_v) für das Gasvolumen angegeben werden. Dieser zuletzt genannte Zustand (T_v, p_v) muß nicht notwendigerweise mit dem Bezugszustand (T_b, p_b) für die Verbrennung übereinstimmen.

Diese Norm legt alternativ zwei mögliche Kombinationen für diese Bezugszustände, den der Verbrennung (T_b, p_b) und den des Gasvolumens (T_v, p_v), fest.

5.2 Kombination I

Bei dieser Kombination ist die Bezugstemperatur für die Verbrennung auf $T_b = 298,15 \text{ K}$ ($t_b = 25^\circ\text{C}$) festgesetzt. Die Verbrennung findet bei einem Bezugsdruck von $p_b = 101,325 \text{ kPa}$ ($p_b = 1,01325 \text{ bar}$) statt. Unter dem Gasvolumen ist hier das Volumen des trockenen Gases bei der Temperatur $T_v = T_n = 273,15 \text{ K}$ ($t_n = 0^\circ\text{C}$) und dem Druck $p_v = p_n = 101,325 \text{ kPa}$ zu verstehen. Der so definierte Gaszustand wird Normzustand (Index n) genannt (siehe DIN 1343).

5.3 Kombination II

Bei dieser Kombination sind die Bezugszustände für die Verbrennung und das Gasvolumen identisch. Sie werden im folgenden Referenzzustand (Index *ref*) genannt. Die Temperatur und der Druck im Referenzzustand sind $T_{ref} = 288,15 \text{ K}$ ($t_{ref} = 15^\circ\text{C}$) und $p_{ref} = 101,325 \text{ kPa}$.

6 Formelzeichen

Tabelle 1

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
d	relative Dichte	1
H_{sm}	molarer Brennwert	MJ/kmol
H_{im}	molarer Heizwert	MJ/kmol
H_s	massenbezogener Brennwert	MJ/kg
H_i	massenbezogener Heizwert	MJ/kg
H_{sv}	volumenbezogener Brennwert	MJ/m ³
H_{iv}	volumenbezogener Heizwert	MJ/m ³
M	molare Masse	kg/kmol
M_L	molare Masse trockener Luft	kg/kmol
N	Anzahl der Komponenten eines Gasgemisches	1
p	Druck	kPa
R	molare Gaskonstante $R = 8,314\,510 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$	kJ/(kmol · K)
T	thermodynamische Temperatur	K
V_m	molares Volumen	m ³ /kmol
W_{sv}	oberer Wobbeindex	MJ/m ³
W_{iv}	unterer Wobbeindex	MJ/m ³
x	Stoffmengenanteil	1
Z	Realgasfaktor	1
Z_L	Realgasfaktor trockener Luft	1

(fortgesetzt)

Tabelle 1 (abgeschlossen)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
$\sqrt{b}$	Summenfaktor im Bezugszustand	1
ρ	Dichte	kg/m ³
b	Index für Bezugszustand (T_b, p_b) für die Verbrennung	—
n	Index für Normzustand ($T_n = 273,15 \text{ K}, p_n = 101,325 \text{ kPa}$)	—
ref	Index für Referenzzustand ($T_{\text{ref}} = 288,15 \text{ K}, p_{\text{ref}} = 101,325 \text{ kPa}$)	—
v	Index für Bezugszustand (T_v, p_v) für das Volumen	—
j	Index für Komponente j eines Gasgemisches	—

ANMERKUNG: In dem informativen Anhang A werden zusätzliche Formelzeichen verwendet, die in Tabelle 1 nicht enthalten sind.

7 Berechnung von Brennwert und Heizwert

7.1 Allgemeines

Für die Berechnung von Stoffwerten für Gasgemische nach den in dieser Norm festgelegten Verfahren wird die molare Zusammensetzung des Gasgemisches benötigt, d.h. es werden die Stoffmengenanteile sämtlicher Bestandteile benötigt. Zusammensetzungsangaben in anderen Zusammensetzungsgrößen, z. B. Volumenanteilen, können nach den in DIN 51896-1 und DIN 51896-2 angegebenen Verfahren auf Stoffmengenanteile umgerechnet werden.

Brennwert und Heizwert eines Gasgemisches werden aus den Brennwerten und Heizwerten der Bestandteile des Gemisches (Komponenten) und der Gaszusammensetzung berechnet. Die Gleichungen (1), (2) und (4) gelten sowohl für den Brennwert ($H_{\text{sm}}, H_s, H_{\text{sv}}$) wie für den Heizwert ($H_{\text{im}}, H_i, H_{\text{iv}}$). Sie sind deshalb ohne Verwendung der Indizes s und i formuliert.

7.2 Berechnung von molarem Brennwert und molarem Heizwert

Der molare Brennwert bzw. molare Heizwert eines Gasgemisches wird nach Gleichung (1) berechnet.

$$H_m(T_b) = \sum_{j=1}^N x_j H_{mj}(T_b) \quad (1)$$

Dabei ist:

- $H_m(T_b)$ molarer Brennwert bzw. molarer Heizwert des Gasgemisches bei der Bezugstemperatur T_b für die Verbrennung;
- $H_{mj}(T_b)$ molarer Brennwert bzw. molarer Heizwert der Komponente j bei der Bezugstemperatur T_b für die Verbrennung;
- x_j Stoffmengenanteil der Komponente j ;
- N Anzahl der Komponenten des Gasgemisches.

Zahlenwerte für die molaren Brennwerte und die molaren Heizwerte der Komponenten für die Bezugszustände (T_b, p_b) nach Abschnitt 5 sind in Abschnitt 10 angegeben.

7.3 Berechnung von massenbezogenem Brennwert und massenbezogenem Heizwert

Der massenbezogene Brennwert bzw. massenbezogene Heizwert eines Gases oder Gasgemisches bei der

Bezugstemperatur T_b für die Verbrennung errechnet sich aus dem molaren Brennwert bzw. molaren Heizwert nach Gleichung (2).

$$H(T_b) = \frac{H_m(T_b)}{M} \quad (2)$$

Dabei ist:

M molare Masse des Gases oder Gasgemisches.

Für ein Gasgemisch berechnet sich die molare Masse nach Gleichung (3).

$$M = \sum_{j=1}^N x_j M_j \quad (3)$$

Dabei ist:

M_j molare Masse der Komponente j .

Zahlenwerte für die molaren Massen der Komponenten sind in Abschnitt 10 angegeben.

7.4 Berechnung von volumenbezogenem Brennwert und volumenbezogenem Heizwert

Der volumenbezogene Brennwert bzw. volumenbezogene Heizwert eines Gases oder Gasgemisches bei der Bezugstemperatur T_b für die Verbrennung errechnet sich aus dem molaren Brennwert bzw. molaren Heizwert nach Gleichung (4).

$$H_v(T_b) = \frac{H_m(T_b) p_v}{RT_v Z_v} \quad (4)$$

Hierbei ist das molare Volumen des Gases oder Gasgemisches im Bezugszustand (T_v, p_v) wie in Gleichung (5) gegeben.

$$V_m(T_v, p_v) = \frac{RT_v Z_v}{p_v} \quad (5)$$

Dabei ist:

R molare Gaskonstante;

Z_v Realgasfaktor des Gases oder Gasgemisches im Bezugszustand (T_v, p_v).

Für ein Gasgemisch wird der Realgasfaktor Z_v im Bezugszustand (T_v, p_v) für das Volumen nach Gleichung (6) berechnet.

$$Z_v = 1 - \left(\sum_{j=1}^N x_j \sqrt{b_j} \right)^2 \quad (6)$$