

DIN EN ISO 6976



ICS 75.060

Ersatz für
DIN EN ISO 6976:2005-09

**Erdgas –
Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und
Wobbeindex aus der Zusammensetzung (ISO 6976:2016);
Deutsche Fassung EN ISO 6976:2016**

Natural gas –
Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition
(ISO 6976:2016);
German version EN ISO 6976:2016

Gaz naturel –
Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique, de la densité relative et des indices
de Wobbe à partir de la composition (ISO 6976:2016);
Version allemande EN ISO 6976:2016

Gesamtumfang 67 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 6976:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193/SC 1 „Analysis of natural gas“ (Sekretariat: NEN, Niederlande) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 238 „Prüfgase, Prüfdrücke, Gerätekategorien und Gasgerätearten“ (Sekretariat: AFNOR, Frankreich) erarbeitet. Das zuständige nationale Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-05-73 AA „Gasanalyse und Gasbeschaffenheit“ des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP).

Diese Europäische Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheiten „°F“ (Grad Fahrenheit) und „psi“ (Pfund pro Quadratzoll), welche in Deutschland nicht zugelassen sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheiten im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen nicht zulässig ist.

Umrechnung

nicht zugelassene Einheit	zugelassene Einheit	Umrechnung
°F	°C	$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \cdot ([^{\circ}\text{F}] - 32)$
psi	Pa	1 psi = 6 894,757 Pa

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 6974-1	siehe DIN EN ISO 6974-1
ISO 6974-2	siehe DIN EN ISO 6974-2
ISO 14912	siehe DIN EN ISO 14912
ISO 80000-1	siehe DIN EN ISO 80000-1

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 6976:2005-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm technisch überarbeitet;
- b) normative Verweisungen aufgenommen;
- c) Begriffe überarbeitet;
- d) Anhang A (Formelzeichen und Symbole) in den normativen Text übernommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 6976: 2005-09

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 6974-1, *Erdgas — Bestimmung der Zusammensetzung und der zugehörigen Unsicherheit durch Gaschromatographie — Teil 1: Allgemeine Leitlinien und Berechnung der Zusammensetzung*

DIN EN ISO 6974-2, *Erdgas — Bestimmung der Zusammensetzung und der zugehörigen Unsicherheit durch Gaschromatographie — Teil 2: Unsicherheitsberechnungen*

DIN EN ISO 14912, *Gasanalyse — Umrechnung von Zusammensetzungsangaben für Gasgemische*

DIN EN ISO 80000-1, *Größen und Einheiten — Teil 1: Allgemeines*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Erdgas —
Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte
und Wobbeindex aus der Zusammensetzung
(ISO 6976:2016)

Natural gas —
Calculation of calorific values, density, relative density
and Wobbe indices from composition
(ISO 6976:2016)

Gaz naturel —
Calcul des pouvoirs calorifiques, de la masse volumique,
de la densité relative et des indices de Wobbe à partir
de la composition
(ISO 6976:2016)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. August 2016 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	5
Vorwort.....	6
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen.....	9
3 Begriffe.....	9
4 Symbole und Einheiten.....	12
4.1 Größen.....	12
4.2 Tiefgestellter Index.....	13
4.3 Hochgestellter Index.....	14
5 Kurzbeschreibung.....	14
6 Verhalten idealer und realer Gase.....	15
6.1 Verbrennungsenthalpie.....	15
6.2 Berechnung des Realgasfaktors.....	15
7 Berechnung des molaren Brenn-/Heizwertes.....	16
7.1 Brennwert.....	16
7.2 Heizwert.....	17
8 Berechnung des massenbezogenen Brenn-/Heizwertes.....	17
8.1 Brennwert.....	17
8.2 Heizwert.....	18
9 Berechnung des volumenbezogenen Brenn-/Heizwertes.....	18
9.1 Idealgas-Brennwert.....	18
9.2 Idealgas-Heizwert.....	18
9.3 Realgas-Brennwert.....	19
9.4 Realgas-Heizwert.....	19
10 Berechnung zugehöriger Eigenschaften.....	19
10.1 Relative Dichte des idealen Gases.....	19
10.2 Dichte des idealen Gases.....	20
10.3 Oberer Wobbeindex des idealen Gases.....	20
10.4 Unterer Wobbeindex des idealen Gases.....	20
10.5 Relative Dichte des realen Gases.....	21
10.6 Dichte des realen Gases.....	21
10.7 Oberer Wobbeindex des realen Gases.....	22
10.8 Unterer Wobbeindex des realen Gases.....	22
11 Unsicherheit der Berechnung.....	22
11.1 Grundsätze.....	22
11.2 Gleichungen für das Analyseverfahren.....	23
11.3 Eingabewerte für das Analyseverfahren.....	23
11.3.1 Zusammensetzung und Unsicherheiten der Zusammensetzung.....	23
11.3.2 Nicht zusammensetzungsbezogene Eingabewerte.....	24
11.4 Erweiterte Unsicherheit.....	25
11.5 Angabe der Ergebnisse.....	25
11.5.1 Allgemeines.....	25
11.5.2 Analyseverfahren.....	25

11.5.3	Allgemeines Verfahren	26
11.5.4	Kontingenzverfahren	26
11.6	Anwendung der Unsicherheit.....	26
12	Datentabellen	28
Anhang A (normativ) Werte für Hilfskonstanten		34
A.1	Gaskonstante	34
A.2	Atomgewichte der Elemente.....	34
A.3	Eigenschaften trockener Luft	35
A.4	Standard-Verdampfungsenthalpie von Wasser	36
Anhang B (normativ) Gleichungen zur Berechnung der Unsicherheit.....		37
B.1	Allgemeines	37
B.2	Molare Masse	37
B.3	Summenfaktor	37
B.4	Realgasfaktor	37
B.5	Molarer Brennwert.....	38
B.6	Massenbezogener Brennwert.....	38
B.7	Volumenbezogener Brennwert.....	38
B.8	Molarer Heizwert	38
B.9	Massenbezogener Heizwert.....	39
B.10	Volumenbezogener Heizwert.....	39
B.11	Dichte	39
B.12	Relative Dichte	40
B.13	Oberer Wobbeindex	40
B.14	Unterer Wobbeindex.....	40
Anhang C (informativ) Umrechnungsfaktoren.....		41
C.1	Allgemeines	41
C.2	Molarer Brenn-/Heizwert.....	41
C.3	Massenbezogener Brenn-/Heizwert	41
C.4	Volumenbezogener Brenn-/Heizwert sowie oberer und unterer Wobbeindex	42
C.5	Dichte	42
Anhang D (informativ) Beispielberechnungen		43
D.1	Allgemeines	43
D.2	Beispiel 1: Ein einfaches Gemisch aus fünf Komponenten.....	43
D.2.1	Allgemeines	43
D.2.2	Zusammensetzungsanalyse	43
D.2.3	Berechnung der molaren Masse	44
D.2.4	Berechnung des molaren Realgas-Volumens.....	44
D.2.5	Berechnung des molaren Brennwertes.....	45
D.2.6	Berechnung der Unsicherheit des molaren Brennwertes.....	46
D.2.7	Berechnung des massenbezogenen Brennwertes	47
D.2.8	Berechnung der Unsicherheit des massenbezogenen Brennwertes	47
D.2.9	Berechnung des volumenbezogenen Realgas-Brennwertes	49
D.2.10	Berechnung der Unsicherheit des volumenbezogenen Realgas-Brennwertes	49
D.3	Beispiel 2: Ein einfaches Gemisch, das Wasserdampf enthält	51
D.3.1	Allgemeines	51
D.3.2	Zusammensetzungsanalyse	51
D.3.3	Berechnung der molaren Masse	51
D.3.4	Berechnung des molaren Realgas-Volumens.....	52
D.3.5	Berechnung des molaren Brennwertes.....	52
D.3.6	Berechnung der Unsicherheit des molaren Brennwertes.....	53
D.3.7	Berechnung des massenbezogenen Brennwertes	54
D.3.8	Berechnung der Unsicherheit des massenbezogenen Brennwertes	54
D.3.9	Berechnung des volumenbezogenen Realgas-Brennwertes	56

D.3.10	Berechnung der Unsicherheit des volumenbezogenen Realgas-Brennwertes	56
D.3.11	Umrechnung in Nicht-SI-Einheiten.....	58
D.4	Beispiel 3: Ein komplexeres Gemisch aus 11 Komponenten	58
D.4.1	Allgemeines.....	58
D.4.2	Zusammensetzungsanalyse	59
D.4.3	Eigenschaften und Unsicherheiten bei ISO-Standard-Referenzbedingungen	59
D.4.4	Eigenschaften und Unsicherheiten bei Referenzbedingungen von 25 °C/0 °C.....	61
	Literaturhinweise	63

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 6976:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193 „Natural gas“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 238 „Prüfgase, Prüfdrücke, Gerätekategorien und Gasgerätearten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2017, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2017 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 6976:2005.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 6976:2016 wurde vom CEN als EN ISO 6976:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 193, *Natural gas*, Unterkomitee SC 1, *Analysis of natural gas*.

Diese dritte Ausgabe ersetzt die zweite Ausgabe (ISO 6976:1995), die technisch überarbeitet wurde.

Einleitung

Sowohl die internationale als auch die innerstaatliche Erdgasübergabe erfordern gewöhnlich eine genaue Bestimmung sowohl der Menge als auch der Qualität des gehandelten Gases. Dieses Dokument legt Verfahren für die Berechnung von Schlüsseigenschaften zur Beschreibung der Gasqualität fest, und zwar Brenn- und Heizwert, Dichte, relative Dichte sowie oberer und unterer Wobbeindex. Die Verfahren bieten die Mittel zur Berechnung dieser Eigenschaften und der zugehörigen Unsicherheiten für jedes Erdgas, Erdgas austauschgas und ähnliche Brenngase bekannter Zusammensetzung bei allgemein üblichen Referenzbedingungen.

Die nach diesem Dokument berechneten Werte der verschiedenen Eigenschaften werden im Allgemeinen nur sehr geringfügig von den nach der zweiten Ausgabe (1995) dieses Dokuments berechneten Werten abweichen. In diesem Zusammenhang wird anerkannt, dass:

- a) die Übernahme der in diesem Dokument enthaltenen Überarbeitungen nicht ohne Kosten bleiben wird, da die Software von Messgeräten aktualisiert werden muss;
- b) sich der aufgezeichnete Energiegehalt und somit die in Rechnung gestellte Energie als Folge dieser Überarbeitungen geringfügig ändern wird;
- c) unbeabsichtigte Auswirkungen eintreten könnten, wenn die Überarbeitungen ohne Weiteres angewendet werden, beispielsweise wenn die Überarbeitungen an Eingangspunkten eines Rohrleitungssystems, nicht aber den Ausgangspunkten angewendet werden, wodurch ein kostenträchtiges Ungleichgewicht bei der Abrechnung entstehen kann;
- d) kommerzielle, vertragliche, behördliche und gesetzliche Pflichten berücksichtigt werden müssen.

Aus diesen Gründen und in Abhängigkeit vom Anwendungsfall des Anwenders kann es angemessen sein, eine Bewertung der Auswirkungen durchzuführen, um den zeitlichen Ablauf und die Durchführung für die Anwendung der Festlegungen dieses Dokuments zu vereinbaren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren für die Berechnung von Brennwert, Heizwert, Dichte, relativer Dichte sowie oberem und unterem Wobbeindex von Erdgasen, Erdgasaustauschgasen und sonstigen Brenngasen fest, wenn die Zusammensetzung des Gases in Stoffmengenanteilen bekannt ist. Anhand der festgelegten Verfahren können die Eigenschaften des Gasgemisches bei allgemein üblichen Referenzbedingungen berechnet werden.

Die Stoffmengenanteile ergeben per Definition genau 1. Anleitungen zur Erfüllung dieser Anforderung mit Hilfe der Gaschromatographie sind in ISO 6974-1 und ISO 6974-2 angegeben.

Die Berechnungsverfahren erfordern Werte für verschiedene physikalische Eigenschaften der reinen Komponenten; diese Werte werden gemeinsam mit den zugehörigen Unsicherheiten in Form von Tabellen und unter Angabe der jeweiligen Quellen bereitgestellt.

Es sind Verfahren zur Schätzung der Standard-Unsicherheiten der berechneten Eigenschaften angegeben.

Die Verfahren zur Berechnung der molaren, massen- oder volumenbezogenen Eigenschaftswerte gelten für alle Erdgase, Erdgasaustauschgas oder sonstigen in der Regel gasförmigen Brennstoffe mit der Ausnahme, dass die Berechnung der volumenbezogenen Eigenschaftswerte auf Gemische mit einem Realgasfaktor bei Referenzbedingungen größer als 0,9 beschränkt ist.

Beispielberechnungen für die empfohlenen Berechnungsverfahren sind in Anhang D angegeben.

ANMERKUNG 1 Die Qualifikationsmerkmale „superior“, „higher“, „upper“ und „total“ sind für die Anwendung dieses Dokuments gleichbedeutend mit „gross“ (im Zusammenhang mit „calorific value“: Brennwert; mit „Wobbe index“: oberer Wobbeindex); ebenso sind „inferior“ und „lower“ gleichbedeutend mit „net“ (im Zusammenhang mit „calorific value“: Heizwert; mit „Wobbe index“: unterer Wobbeindex). Der Begriff „heating value“ ist gleichbedeutend mit „calorific value“ (Brennwert, Heizwert); „mass density“ und „specific density“ sind gleichbedeutend mit „density“ (Dichte); „specific gravity“ ist gleichbedeutend mit „relative density“ (relative Dichte); „Wobbe number“ ist gleichbedeutend mit „Wobbe index“ (Wobbeindex); „compressibility factor“ ist gleichbedeutend mit „compression factor“ (Realgasfaktor). Der Zahlenwert der dimensionslosen Größe Molekulargewicht entspricht dem der molaren Masse in $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$.

ANMERKUNG 2 Es bestehen keine expliziten Grenzen der Zusammensetzung, für welche die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren gelten. Allerdings setzt die Begrenzung der volumenbezogenen Berechnungen auf Gemische mit einem Realgasfaktor bei Referenzbedingungen größer als 0,9 implizite Grenzen für die Zusammensetzung.

ANMERKUNG 3 Da der Stoffmengenanteil des gesamten vorhandenen Wassers gewöhnlich nicht aus der chromatographischen Analyse hervorgeht, ist es übliche Praxis, die physikalischen Eigenschaften auf der Grundlage von trockenem Gas zu berechnen und die Auswirkungen von Wasserdampf in einem gesonderten Verfahren zu berücksichtigen. Ist der Stoffmengenanteil von Wasserdampf jedoch bekannt, können die Berechnungen der Eigenschaften vollständig nach den hierin beschriebenen Verfahren durchgeführt werden. Die Auswirkungen von Wasserdampf auf Brenn- oder Heizwert, unabhängig davon, ob Letzterer in direkter Messung oder durch Berechnung bestimmt wird, sind in ISO/TR 29922 beschrieben.

ANMERKUNG 4 Bei aliphatischen Kohlenwasserstoffen mit der Kohlenstoffzahl 7 oder darüber wird jedes Isomer mit dem normalen Isomer derselben Kohlenstoffzahl einbezogen.

ANMERKUNG 5 Beinhaltet die Anforderung des Anwenders den Austausch von beispielsweise einer Gruppe analytisch ungeklärter Komponenten mit C_{6+} oder C_{7+} durch eine einzelne Pseudo-Komponente, dann muss es die Aufgabe des Anwenders sein, die Zusammensetzung der Stoffmengenanteile und damit die Eigenschaften dieser Pseudo-Komponente so festzulegen, dass sie für eine bestimmte Anwendung geeignet ist. So genanntes „Zuschauerwasser“ und „nicht brennbares Wasserstoffsulfid“ werden ebenfalls als Pseudo-Komponenten behandelt, indem die jeweiligen Werte der Verbrennungsenthalpie gleich 0 gesetzt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6974-1, *Natural gas — Determination of composition and associated uncertainty by gas chromatography — Part 1: General guidelines and calculation of composition*

ISO 6974-2, *Natural gas — Determination of composition and associated uncertainty by gas chromatography — Part 2: Uncertainty calculations*

ISO 14912:2003, *Gas analysis — Conversion of gas mixture composition data*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten folgende Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online browsing platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Brennwert

Wert an Wärme, der bei einer vollständigen Verbrennung mit Sauerstoff einer vorgegebenen Gasmenge abgegeben werden würde, wobei der Druck p_1 , bei dem die Reaktion stattfindet, konstant bleibt, und alle Verbrennungsprodukte auf die gleiche vorgegebene Temperatur t_1 der Ursprungsprodukte zurückgeführt werden; dabei liegen alle diese Produkte im gasförmigen Zustand vor, mit Ausnahme von Wasser, das bei t_1 in den flüssigen Zustand kondensiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei molarer Angabe der Gasmenge wird der Brennwert mit $(Hc)_G(t_1, p_1)$ bezeichnet; der massenbezogene Brennwert wird mit $(Hm)_G(t_1, p_1)$ bezeichnet. Wird die Gasmenge volumenbezogen angegeben, wird der Brennwert mit $(Hv)_G(t_1, p_1; t_2, p_2)$ bezeichnet, wobei t_2 und p_2 die Referenzbedingungen für die Volumenmessung des Gases sind (siehe Bild 1).

3.2

Heizwert

Wert an Wärme, der bei einer vollständigen Verbrennung mit Sauerstoff einer vorgegebenen Gasmenge abgegeben werden würde, wobei der Druck p_1 , bei dem die Reaktion stattfindet, konstant bleibt, und alle Verbrennungsprodukte auf die gleiche vorgegebene Temperatur t_1 der Ursprungsprodukte zurückgeführt werden; dabei liegen alle diese Produkte im gasförmigen Zustand vor

Anmerkung 1 zum Begriff: Molare, massenbezogene und volumenbezogene Heizwerte werden entsprechend mit $(Hc)_N(t_1, p_1)$, $(Hm)_N(t_1, p_1)$ bzw. $(Hv)_N(t_1, p_1; t_2, p_2)$ bezeichnet.

3.3

Dichte

Quotient aus der Masse einer Gasprobe und deren Volumen unter gegebenen Druck- und Temperaturbedingungen

3.4

relative Dichte

Quotient aus der Dichte eines Gases und der Dichte trockener Luft mit Referenzzusammensetzung bei den gleichen gegebenen Temperatur- und Druckbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „ideale relative Dichte“ findet Anwendung, wenn sowohl Gas als auch Luft als Medien betrachtet werden, die dem idealen Gasgesetz gehorchen (siehe 3.8). Der Begriff „reale relative Dichte“ findet Anwendung, wenn sowohl Gas als auch Luft als reale Medien betrachtet werden (siehe 3.9). Zu der festgelegten Referenzzusammensetzung trockener Luft siehe ISO/TR 29922.

3.5

oberer Wobbeindex

Quotient aus dem volumenbezogenen Brennwert bei gegebenen Referenzbedingungen und der Quadratwurzel aus der relativen Dichte bei gleichen gegebenen Referenzbedingungen für die Volumenmessung

Anmerkung 1 zum Begriff: Im allgemeinen Gebrauch und mangels einer anderen Bezeichnung wird der Begriff „Wobbeindex“ als gleichbedeutend mit der hier als oberer Wobbeindex bezeichneten Größe verwendet.

3.6

unterer Wobbeindex

Quotient aus dem volumenbezogenen Heizwert bei gegebenen Referenzbedingungen und der Quadratwurzel aus der relativen Dichte bei gleichen gegebenen Referenzbedingungen für die Volumenmessung

3.7

Umwandlungsenthalpie

Wärmemenge, die beim Übergang einer Substanz oder eines Systems von einem (Anfangs-)Zustand in einen anderen (End-)Zustand freigesetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine *positive* Wärmefreisetzung entspricht nach thermodynamischer Konvention einem numerisch identischen *negativen* Enthalpieanstieg.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Kontext dieses Dokumentes kann Folgendes festgestellt werden:

- **Verbrennungsenthalpie:** der Anfangszustand ist der eines unverbrannten stöchiometrischen Gemisches von Reaktionspartnern und der Endzustand ist der der Verbrennungsprodukte bei denselben Druck- und Temperaturbedingungen;
- **Standard-Verdampfungsenthalpie:** der Anfangszustand ist der eines flüssigen Stoffes im Sättigungszustand und der Endzustand ist der desselben Stoffes im hypothetischen Zustand eines idealen Gases bei derselben Temperatur;
- **Enthalpieänderung:** der Anfangszustand ist der eines Gases oder Gasgemisches bei Temperatur T_1 und der Endzustand ist der desselben Gases oder Gasgemisches bei demselben Druck aber einer anderen Temperatur T_2 ;
- **Enthalpiekorrektur (Restenthalpie):** der Anfangszustand ist der eines Gases oder Gasgemisches im hypothetischen Idealgaszustand und der Endzustand ist der desselben Gases oder Gasgemisches bei denselben Druck- und Temperaturbedingungen im Realgaszustand.

3.8

ideales Gas

Gas, das dem idealen Gasgesetz entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Das ideale Gasgesetz kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$p \cdot V^0 = R \cdot T$$

Dabei ist

p der absolute Druck;

T die thermodynamische Temperatur;

V^0 das Volumen, das ein Mol idealen Gases einnimmt (ideales molares Volumen);

R die Gaskonstante, in abgestimmten Einheiten.

3.9

reales Gas

Gas, das vom volumenbezogenen Idealzustand abweicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Kein reales Gas gehorcht dem idealen Gasgesetz. Abweichungen vom volumenbezogenen Idealzustand können in Form der Zustandsgleichung ausgedrückt werden

$$p \cdot V = Z(p,T) \cdot R \cdot T$$

Dabei ist

V das Volumen, das ein Mol realen Gases einnimmt (reales molares Volumen);

$Z(p,T)$ eine Variable, die häufig annähernd 1 ist und als Realgasfaktor bezeichnet wird (siehe 3.10).

3.10

Realgasfaktor

Quotient aus dem tatsächlichen (realen) Volumen einer gegebenen Gasmenge bei gegebenem Druck und Temperatur und deren Volumen, wie er sich aus dem idealen Gasgesetz berechnet

3.11

Referenzbedingungen für die Verbrennung

gegebene(r) Temperatur t_1 und Druck p_1 , bei der/dem der Brennstoff angenommenenerweise verbrannt wird

3.12

Referenzbedingungen für die Volumenmessung

gegebene(r) Temperatur t_2 und Druck p_2 , bei der/dem das zu verbrennende Brennstoffvolumen angenommenenerweise bestimmt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Referenzbedingungen für Volumenmessung und Verbrennung müssen nicht *a priori* gleich sein (siehe Bild 1).

Anmerkung 2 zum Begriff: Weltweit wird ein Bereich von Referenzbedingungen angewendet.

Anmerkung 3 zum Begriff: In diesem gesamten Dokument ist die Verwendung von 15,55 °C als Kürzel für den genauen Celsiuswert für 60 °F^{N1}, d. h. 15^{5/9} oder 15,55 (periodisch) °C, vorgesehen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Das exakte Äquivalent von 101,325 kPa in psi^{N2}) kann berechnet werden aus
 $(101\,325) \cdot (0,304\,8/12)^2 / (0,453\,592\,37) \cdot (9,806\,65) = 14,695\,949 \dots$

Dieser Wert wird in der Praxis üblicherweise auf 14,696 psi gerundet und dieser gerundete Wert wird als gleichwertig mit 101,325 kPa angesehen.

N1) Nationale Fußnote: Die Einheit „°F“ steht als Abkürzung für Grad Fahrenheit, die in Deutschland nicht zugelassen ist (Umrechnung siehe Nationales Vorwort).

N2) Nationale Fußnote: Die Einheit „psi“ steht als Abkürzung für Pfund pro Quadratzoll (en: pound(-force) per square inch), die in Deutschland nicht zugelassen ist (Umrechnung siehe Nationales Vorwort).

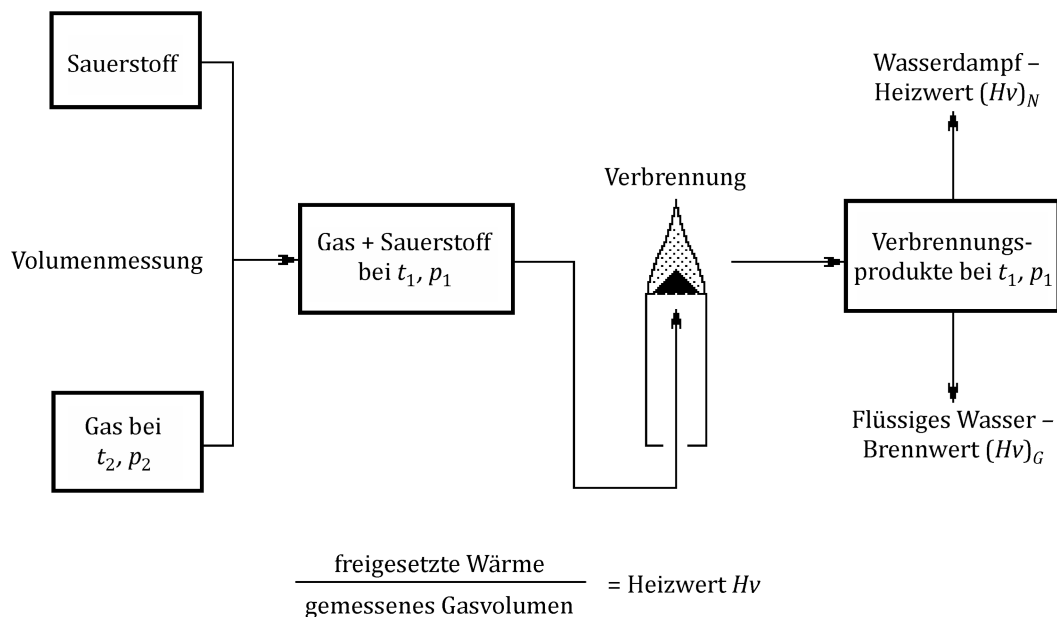


Bild1 — Volumenbezogener Brennwert/Heizwert — Referenzbedingungen für die Volumenmessung und für die Verbrennung

4 Symbole und Einheiten

4.1 Größen

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Atommasse	$\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$
a	Atomindex für Kohlenstoff für die verallgemeinerte Molekülart $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{S}_e$	—
b	Atomindex für Wasserstoff für die verallgemeinerte Molekülart $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{S}_e$	—
c	Atomindex für Stickstoff für die verallgemeinerte Molekülart $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{S}_e$	—
D	Dichte	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
d	Atomindex für Sauerstoff für die verallgemeinerte Molekülart $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{S}_e$	—
e	Atomindex für Schwefel für die verallgemeinerte Molekülart $\text{C}_a\text{H}_b\text{N}_c\text{O}_d\text{S}_e$	—
F	Funktion, die die Eigenschaft Y erzeugt	—
G	relative Dichte	—
H_c	molarer Brenn-/Heizwert	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
H_m	massenbezogener Brenn-/Heizwert	$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
H_v	volumenbezogener Brenn-/Heizwert	$\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$

Symbol	Bedeutung	Einheit
k	Erweiterungsfaktor	—
L	molare Enthalpie der Verdampfung von Wasser	$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
M	molare Masse	$\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$
N	Anzahl der Komponenten in einem Gemisch	—
n	Anzahl der Bestimmungen in einem Datensatz von Werten	—
p	Druck (absolut)	kPa
q	genaue Eingabegröße für die Berechnung von Y	(variiert)
R	molare Gaskonstante	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
r	Korrelationskoeffizient	—
s	Summenfaktor	—
T	thermodynamische (absolute) Temperatur	K
t	Celsius-Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
$U(Y)$	erweiterte Unsicherheit von Y	(variiert)
$u(Y)$	Standardunsicherheit von Y	(variiert)
V	molares Volumen	$\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$
W	Wobbeindex	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$
x	Stoffmengenanteil	—
Y	allgemeine (nicht spezifizierte) physikalische Eigenschaft	(variiert)
y	ungenauere Eingabegröße für die Berechnung von Y	(variiert)
Z	Realgasfaktor	—

4.2 Tiefgestellter Index

Symbol	Bedeutung
G	brutto (en: gross) (Brennwert oder oberer Wobbeindex)
i	fortlaufender Zählwert Komponentenkennzeichnung
j	fortlaufender Zählwert Komponentenkennzeichnung
k	fortlaufender Zählwert

Symbol	Bedeutung
m	fortlaufender Zählwert
N	netto (en: net) (Heizwert oder unterer Wobbeindex)
n	fortlaufender Zählwert
Luft	für Luft
0	Referenz-(Basis-)Wert (des Drucks)
1	Referenzzustand für die Verbrennung
2	Referenzzustand für die Volumenmessung

4.3 Hochgestellter Index

Symbol	Bedeutung
0	für den Idealgaszustand

5 Kurzbeschreibung

Angegeben sind Verfahren zur Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte sowie oberem und unterem Wobbeindex von beliebigen Erdgasen, Erdgasaustauschgasen oder sonstigen Brenngasen bekannter Stoffmengenzusammensetzung.

Dabei werden bei diesen Verfahren Gleichungen für Brenn- und Heizwert verwendet, in denen für jede einzelne Molekülart des Gasgemisches der tabellierte Wert des molaren Brennwertes für ideale Gase entsprechend dem jeweiligen Stoffmengenanteil gewichtet wird. All diese Terme werden dann zur über den „Stoffmengenanteil gemittelten“ molaren Größe des idealen Gasgemisches summiert. Weitere Gleichungen sind angegeben für die Umrechnung dieser Größe in den Heizwert des idealen Gases sowie anschließend in entweder den massen- oder den volumenbezogenen Brennwert/Heizwert des idealen Gases.

Bei diesen Verfahren werden ebenso Gleichungen für die Dichte und die relative Dichte verwendet, in denen für jede einzelne Molekülart des Gasgemisches der tabellierte Wert der molaren Masse entsprechend dem jeweiligen Stoffmengenanteil gewichtet wird. All diese Terme werden dann zur über den „Stoffmengenanteil gemittelten“ Größe summiert. Gleichungen sind angegeben für die Umrechnung dieser über den „Stoffmengenanteil gemittelten“ molaren Masse in die Dichte oder die relative Dichte des idealen Gases.

Die Werte für die Dichte und die relative Dichte des realen Gases werden dann durch Anwendung eines volumenbezogenen Korrekturfaktors (Realgasfaktor) bestimmt. Eine Vorschrift für dessen Berechnung ist angegeben.

Beim Brennwert/Heizwert ist die Umrechnung vom Idealgaszustand in den Realgaszustand prinzipiell etwas weniger einfach. Zunächst sollte eine kleine Enthalpiekorrektur (Restenthalpie) auf den molaren Brennwert/Heizwert des idealen Gases angewendet werden, um den molaren Brennwert/Heizwert des realen Gases zu ermitteln. Für die Anwendung dieser Norm wurde diese Enthalpiekorrektur jedoch als so klein geschätzt, dass sie gerechtfertigterweise vernachlässigbar ist (siehe ISO/TR 29922).

Aufgrund der Vernachlässigung der Enthalpiekorrektur werden die molaren und massenbezogenen Brenn-/Heizwerte des realen Gases praktisch den entsprechenden Werten des idealen Gases gleichgesetzt. Für die Bestimmung des volumenbezogenen Brenn-/Heizwertes des realen Gases anhand der entsprechenden

Werte des idealen Gases ist jedoch der vorstehend erwähnte volumenbezogene Korrekturfaktor (Realgasfaktor) anzuwenden.

Abschließend sind Gleichungen für die Berechnungen des oberen und des unteren Wobbeindex entweder des realen oder des idealen Gases anhand der sonstigen hier betrachteten Eigenschaften angegeben.

Für jede der Eigenschaften von Erdgas, für die Gleichungen wie oben beschrieben angegeben werden, sind die im GUM [5] beschriebenen Methoden angewendet worden, um so weitere Gleichungen zur Verfügung zu stellen, die eine Abschätzung der zugehörigen Unsicherheit ermöglichen.

Die Ableitung einer solchen Unsicherheitsgleichung wird vollständig in ISO/TR 29922 angegeben. Im Wesentlichen resultiert jede (der Unsicherheitsgleichungen) aus der analytischen Ableitung der Empfindlichkeitskoeffizienten durch partielle Differenzierung der relevanten Gleichungen für die Gasgemisch-Eigenschaften bezogen auf die jeweiligen Eingangsgrößen (nämlich die physikalischen Eigenschaften der reinen Komponenten und die Stoffmengenanteile der Komponenten), mit denen eine Unsicherheit im Zusammenhang stehen kann. Die Ableitungen berücksichtigen auch die unvermeidbaren Korrelationen der Stoffmengenanteile der Komponenten und den ebenfalls unvermeidbaren aber nicht weniger offensichtlichen Korrelationen der molaren Massen (siehe auch Abschnitt 11).

Für jede Eigenschaft wird die Gesamtunsicherheit (quadrierte Unsicherheit) durch die Addition der unabhängigen Beiträge jeder Quelle von Unsicherheiten ermittelt und als Gesamtunsicherheit wird die Quadratwurzel dieser Größe angenommen. Die zu verwendenden Gleichungen sind in Anhang B angegeben.

In Abschnitt 12 sind tabellierte Werte für die maßgebenden physikalischen Eigenschaften und ihre zugehörigen Unsicherheiten der reinen Komponenten von Erdgas für jede der allgemein üblichen Referenzbedingungen angegeben. Hilfsgrößen einschließlich Unsicherheiten sind in Anhang A angegeben. Beispielberechnungen sind in Anhang D zu finden.

6 Verhalten idealer und realer Gase

6.1 Verbrennungsenthalpie

Die grundlegendsten der für die Berechnung von Brenn- und Heizwerten erforderlichen physikalischen Größen sind die molaren Idealgas(Standard)-Verbrennungsenthalpien (molarer Idealgas-Brennwert/Heizwert) für die reinen Komponenten des Gases. Diese Größen werden durch komplexe Funktionen der Temperatur dargestellt; die erforderlichen Werte sind somit von der Referenztemperatur für die Verbrennung t_1 abhängig. Aus praktischen Gründen ist nicht vorgesehen, dass der Anwender die Berechnungen, die die entsprechenden Werte für eine beliebige Referenztemperatur der Verbrennung liefern, selbst durchführen sollte. Stattdessen sind Tabellenwerte für die Temperaturen $t_1 = 25\text{ °C}$, 20 °C , $15,55\text{ °C}$ (60 °F , siehe 3.12, Anmerkung 3 zum Begriff), 15 °C (59 °F) und 0 °C angegeben. Die Herleitungen der in Tabelle 3 aufgeführten Werte sind in ISO/TR 29922 erörtert. Wichtig ist, dass alle fünf Werte für jeden beliebigen Stoff in thermodynamischer Hinsicht wechselseitig konsistent sind.

6.2 Berechnung des Realgasfaktors

Für jeden volumenbezogenen Brenn-/Heizwert ist eine Realgas-Korrektur erforderlich, um der Abweichung des Realgasvolumens vom Idealgaszustand Rechnung zu tragen. Diese Korrektur ist in der Regel nicht vernachlässigbar und ebenfalls bei der Berechnung der Dichte, der relativen Dichte und des Wobbeindex erforderlich. ISO/TR 29922 erörtert die Hintergrundinformationen dazu, wie die Korrekturen für das Volumen im Nicht-Idealgaszustand angewendet werden müssen, sowie die angewendeten Grundsätze und rechtfertigt verwendete Vereinfachungen, welche die Durchführung leicht handhabbarer Berechnungen wie in Gleichung (1) ermöglichen.

Diese Korrektur für das Volumen im Nicht-Idealgaszustand erfolgt durch Anwendung des Realgasfaktors Z für das Gemisch. Die Formel für den Realgasfaktor Z bei Referenzbedingungen für die Volumenmessung, der für die Berechnungen in den Abschnitten 9 und 10 erforderlich ist, lautet (siehe ISO/TR 29922):

$$Z(t_2, p_2) = 1 - \left(\frac{p_2}{p_0} \right) \times \left[\sum_{j=1}^N x_j \cdot s_j(t_2, p_0) \right]^2 \quad (1)$$

wobei $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ ($14,696 \text{ psi}$) ist und der Referenzdruck für die Volumenmessung p_2 in denselben Einheiten angegeben wird. Die Summierung erfolgt über alle N -Komponenten des Gemisches und die Gleichung gilt für den Bereich $90 < p_2/\text{kPa} < 110$ ($13,05 < p_2/\text{psi} < 15,95$). Die Werte des so genannten „Summenfaktors“ $s_j(t_2, p_0)$ sind in Tabelle 2 für die vier relevanten Referenztemperaturen für die Volumenmessung angegeben, und zwar für alle in diesem Dokument betrachteten Komponenten von Erdgas und Erdgas austauschenden Gasen. Die Herleitungen dieser Werte sind detailliert in ISO/TR 29922 beschrieben.

ANMERKUNG Gleichung (1) kann auch für die Berechnung von Werten des Realgasfaktors reiner Komponenten verwendet werden, was allerdings nicht notwendigerweise zum genauesten möglichen Ergebnis führt. Insbesondere wird diese Gleichung weder für die Realgasfaktoren von Wasserstoff, Helium oder Neon mit $Z > 1$, noch für die bei den Referenzbedingungen für die Volumenmessung gasförmigen Komponenten, wie z. B. die höheren Kohlenwasserstoffe, annehmbare Ergebnisse liefern. Der Anwender sollte die Gebrauchstauglichkeit einer jeden derartigen Berechnung prüfen, bevor er diese außerhalb des Kontextes dieses Dokuments durchführt. Definitive Werte des Realgasfaktors für verschiedene reine Komponenten, nämlich die sogenannten „Permanentgase“, sind in ISO/TR 29922 angegeben.

7 Berechnung des molaren Brenn-/Heizwertes

7.1 Brennwert

Der molare Brennwert eines Gemisches bekannter Zusammensetzung bei einer Temperatur t_1 muss wie folgt berechnet werden:

$$(Hc)_G(t_1) = (Hc)_G^0(t_1) = \sum_{j=1}^N x_j \cdot [(Hc)_G^0]_j(t_1) \quad (2)$$

Dabei ist

- $(Hc)_G^0(t_1)$ der molare Idealgas-Brennwert des Gemisches;
- $(Hc)_G(t_1)$ der molare Realgas-Brennwert des Gemisches;
- $[(Hc)_G^0]_j(t_1)$ der molare Idealgas-Brennwert der Komponente j ;
- x_j der Stoffmengenanteil der Komponente j .

ANMERKUNG 1 Werte für $[(Hc)_G^0]_j$ sind druckunabhängig. Folglich ist der Referenzdruck für die Verbrennung p_1 irrelevant und wird in dem angegebenen Variablenverzeichnis weggelassen.

ANMERKUNG 2 Der molare Idealgas-Brenn-/Heizwert eines Gases oder Gasgemisches ist in diesem Dokument als eine positive Größe definiert. Die in Tabelle 3 angegebenen Werte sind numerisch gleich den molaren Standard-Verbrennungsenthalpien, die jedoch konventionell als negative Größen dargestellt werden (siehe 3.7).

Zahlenwerte für $[(Hc)_G^0]_j(t_1)$ für $t_1 = 25\text{ °C}$ sind in Tabelle 3 angegeben. Diese Werte für $[(Hc)_G^0]_j(25)$ sind den in ISO/TR 29922 aufgeführten Original-Literaturquellen entnommen. Die Werte für $[(Hc)_G^0]_j(t_1)$ für andere Temperaturen ($t_1 = 20\text{ °C}$, $15,55\text{ °C}$, 15 °C und 0 °C) sind ebenfalls in Tabelle 3 angegeben. Diese Werte wurden von den Werten für 25 °C entsprechend den Verfahren nach ISO/TR 29922 abgeleitet.

7.2 Heizwert

Der molare Heizwert eines Gemisches bekannter Zusammensetzung bei einer Temperatur t_1 muss wie folgt berechnet werden:

$$(Hc)_N(t_1) = (Hc)_N^0(t_1) = (Hc)_G^0(t_1) - \sum_{j=1}^N x_j \cdot \frac{b_j}{2} \cdot L^0(t_1) \quad (3)$$

Dabei ist

$(Hc)_N^0(t_1)$ der molare Idealgas-Heizwert des Gemisches;

$(Hc)_N(t_1)$ der molare Realgas-Heizwert des Gemisches;

$L^0(t_1)$ die Standard-Enthalpie der Verdampfung von Wasser bei t_1 ;

b_j die Anzahl der vorliegenden Wasserstoffatome in jedem Molekül der Komponente j (Wasserstoffatomindex).

Werte für $L^0(t_1)$ sind in Anhang A für 25 °C , 20 °C , $15,55\text{ °C}$ (60 °F), 15 °C und 0 °C angegeben. Werte für b_j sind in Tabelle 1 angegeben.

8 Berechnung des massenbezogenen Brenn-/Heizwertes

8.1 Brennwert

Der massenbezogene Brennwert eines Gemisches bekannter Zusammensetzung bei einer Temperatur t_1 muss wie folgt berechnet werden:

$$(Hm)_G(t_1) = (Hm)_G^0(t_1) = \frac{(Hc)_G^0(t_1)}{M} \quad (4)$$

Dabei ist

$(Hm)_G^0(t_1)$ der massenbezogene Idealgas-Brennwert des Gemisches;

$(Hm)_G(t_1)$ der massenbezogene Realgas-Brennwert des Gemisches;

M die molare Masse des Gemisches, die wie folgt berechnet werden muss:

$$M = \sum_{j=1}^N x_j \cdot M_j \quad (5)$$