

HANDBUCH DER GASINDUSTRIE

HERAUSGEGEBEN IN EINZELDARSTELLUNGEN

VON HORST BRÜCKNER

G A S T A F E L N

PHYSIKALISCHE, THERMODYNAMISCHE
UND BRENNTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER GASE
UND SONSTIGEN BRENNSTOFFE

VON

HORST BRÜCKNER

DR.-ING. HABIL.

2. AUFLAGE · MIT 15 ABBILDUNGEN



VERLAG VON R. OLDENBOURG

MÜNCHEN 1952

Copyright 1952 by R. Oldenbourg

Printed in Germany

INHALT

I. EINTEILUNG DER BRENNSTOFFE UND DEREN MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG

A. Technische Brenngase

1. Unterteilung der technischen Brenngase	16
2. Durchschnittliche Zusammensetzung der technischen Brenngase	20
3. Mittlere Zusammensetzung von Kokereigas (Ferngas) und von Stadtgas (Steinkohlengas-Wassergas-Gemischen) nach Volumen und Gewicht	20
4. Durchschnittlicher Gehalt technischer Brenngase an schädlichen Begleitstoffen vor und nach der üblichen Gasreinigung	21
5. Richtlinien des DVGW über die Beschaffenheit von Stadtgas	21
a) Brenneigenschaften	21
b) Reinheitsanforderungen	22
6. Durchschnittliche Zusammensetzung von Kohlenwasserstoffgasen	22
7. Beschaffenheit der Flüssiggase	23
a) Mittlere Zusammensetzung von technischem Propan, Propylen und Butan	23
b) Reinheitsanforderungen an Propan, Propylen und Butan	23
c) Unterer Heizwert von Propan, Propylen und Butan	24
d) Beschaffenheit von Propan-Butan-Treibgas	24
e) Mittlere Zusammensetzung von Ruhrgasol	24

B. Feste und flüssige Brennstoffe

1. Mittlerer Gehalt von festen Brennstoffen an Asche, Wasser und flüchtigen Bestandteilen	24
2. Durchschnittliche chemische Zusammensetzung der festen Brennstoffe (auf asche- und wasserfreie Substanz bezogen)	25
3. Petrographische Bestandteile der Steinkohle	26
4. Durchschnittliche Zusammensetzung von Koks (wasserfrei)	26
5. Abhängigkeit des Gasheizwertes, der Gasausbeute und der Gaswertzahl von dem Gehalt der Steinkohlen von Westfalen, Oberschlesien und Niederschlesien an flüchtigen Bestandteilen	27
6. Durchschnittliche Zusammensetzung der Asche von Steinkohle und von Braunkohle	27
7. Schmelzverhalten von Brennstoffaschen	27
8. Schmelztemperatur (Fließpunkt) verschiedener Brennstoffaschen	28

9. Durchschnittliche Beschaffenheit und Zusammensetzung von Erdöl- und Teer- erzeugnissen	28
10. Chemisches Äquivalentverhältnis von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in festen und flüssigen Brennstoffen	28

II. PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

A. Atomgewichte	29
B. Normzustand	
Normtemperatur, Normdruck, Normzustand	30
C. Raumgewicht und Dichteverhältnis der Gase	
1. Begriff	30
2. Normkubikmetergewicht und Dichteverhältnis der Gase	31
3. Luftfeuchtigkeit	32
4. Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft und ihres Dampfes im Gleichgewichtszustand	33
5. Mittlere Zusammensetzung der Luft	33
6. Raumgewicht von Luft in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Wasser- dampfsättigung	33
7. Tafel zur Bestimmung des Reduktionsfaktors von Gasen für die Umrechnung eines unter beliebigen Bedingungen feucht gemessenen Gasvolumens auf Norm- bedingungen (0°, 760 Torr, tr.)	34
8. Umrechnung des Dichteverhältnisses von wasserdampfgesättigten Gasen auf trockenen Zustand und umgekehrt	36
9. Umrechnung des Raumgewichtes von Gasen vom Normzustand auf den Betriebs- zustand	36
10. Formeln für die Umrechnung eines unter beliebigen Bedingungen gemessenen Gas- volumens auf einen anderen Bezugzustand	37
11. Umrechnungswerte für Gasvolumina von verschiedenen Bezugzuständen auf den Normzustand	38
D. Barometrie	
1. Barometerstand und Ortshöhe	38
2. Berechnung des Höhenunterschiedes aus den Barometerständen	38
3. Fehlerberichtigung für Ablesungen am Quecksilberbarometer	39
4. Zahlentafel über die Fehlerberichtigung für Ablesungen am Quecksilberbarometer	39
5. Korrektionswert für die Kapillardepression des Quecksilbers (in Torr – dem abge- lesenen Barometerstand zuzuzählen)	40
6. Mittlere Luftdruck- und Temperaturverteilung in Mitteleuropa	40
7. Druckzunahme des Stadtgases infolge des Auftriebes für verschiedene Höhen- unterschiede (mm Wassersäule)	41
E. Dichte, Raumgewicht und Dichtezahl von festen und flüssigen Stoffen	
1. Begriff	42
2. Dichtezahl fester Stoffe	43

3. Physikalische Eigenschaften der wichtigsten Bestandteile des Erdgases, Erdöls. Steinkohlenteers und sonstiger organischer Stoffe	44
4. Umrechnung von Aräometerskalen	46
5. Dichtezahl (g/cm^3) und spezifisches Volumen (cm^3/g) von reinem Wasser in Ab- hängigkeit von der Temperatur	47
6. Dichtezahl (g/cm^3) von Quecksilber in Abhängigkeit von der Temperatur	47
7. Dichtezahl verschiedener flüssiger Stoffe	48
8. Dichtezahl von Äthylalkohol – Wasser – Gemischen	48
9. Dichtezahl von verflüssigten Gasen bei t°	48
10. Dichtezahl von Schwefelsäure	49
11. Dichtezahl von Ammoniaklösungen bei 15°	51
12. Dichtezahl von Natronlauge bei 15°	51
13. Dichtezahl von Kalkmilch	52
F. Schüttgewicht fester Stoffe	
1. Begriff	53
2. Schüttgewicht von Brennstoffen	53
3. Schüttgewicht von Steinkohle in Abhängigkeit von der Körnung	53
4. Schüttgewicht von Feinkohle in Horizontalkammeröfen	53
5. Schüttgewicht sonstiger Stoffe	54
6. Natürlicher Böschungswinkel bei loser Schüttung (in Winkelgraden)	54
G. Löslichkeit	
1. Löslichkeit von Gasen	54
a) Begriff	54
b) Löslichkeit von Gasen in Wasser bei 1 Atm	55
c) Löslichkeit von Gasen in Wasser bei erhöhtem Druck	56
d) Löslichkeit verschiedener Gase bei 25° in einer Absperrflüssigkeit für die Gas- analyse	57
e) Löslichkeit verschiedener Gase in Benzol	57
f) Löslichkeit von Azetylen in Azeton	57
g) Löslichkeit von Gasen in Gasöl bei erhöhtem Druck	58
h) Lösungswärme von Ammoniak	58
2. Löslichkeit verschiedener Stoffe in Lösungsmitteln	58
a) Löslichkeit verschiedener anorganischer Stoffe in Wasser	58
b) Löslichkeit verschiedener organischer Stoffe in Wasser	59
c) Löslichkeit von Wasser in organischen Stoffen	59
d) Löslichkeit von Benzol in Wasser	59
e) Löslichkeit von Wasser in Benzol	59
f) Löslichkeit von Naphthalin in verschiedenen Lösungsmitteln	59
H. Zähigkeit	
1. Begriff	60
2. Dynamische und kinematische Zähigkeit reiner Gase bei Atmosphärendruck u. 20° .	62

3. Dynamische Zähigkeit reiner Gase in Abhängigkeit von der Temperatur	63
4. Kinematische Zähigkeit reiner Gase in Abhängigkeit von der Temperatur	64
5. Dynamische und kinematische Zähigkeit verschiedener technischer Gas- gemische bei 20°	64
6. Dynamische Zähigkeit von Quecksilber	64
7. Dynamische Zähigkeit von Wasser	64
8. Dynamische Zähigkeit verschiedener Flüssigkeiten	65
 J. Diffusion von Gasen	
1. Begriff	65
2. Diffusionskoeffizient von Gasen und Dämpfen	65
 K. Kompressibilität von Flüssigkeiten	
1. Begriff	66
2. Kompressibilitätswert verschiedener Flüssigkeiten	66
3. Kompressibilitätswert von Wasser	66
 L. Oberflächenspannung	
1. Begriff	66
2. Oberflächenspannung anorganischer Stoffe	67
3. Oberflächenspannung organischer Stoffe	67
 M. Feuerfeste Baustoffe	
1. Unterteilung	67
2. Physikalische Eigenschaften feuerfester Baustoffe	68
 III. THERMODYNAMISCHE EIGENSCHAFTEN	
 A. Thermometrie	
1. Begriff	69
2. Temperaturfestpunkte	
a) Festpunkte für die gesetzliche Temperaturskala	69
b) Thermometrische Hilfspunkte	70
3. Normaltemperatur	71
4. Temperaturmeßgeräte	
a) Flüssigkeitsthermometer	71
b) Widerstandsthermometer	72
c) Thermolemente	73
a) Allgemeines	73
β) Allgemeine Angaben über handelsübliche Thermolemente	74
γ) Thermokräfte verschiedener Thermolemente in Millivolt	76
d) Strahlungs-pyrometer	77

e) Sonstige Temperaturmeßverfahren	77
α) Temperaturbestimmung durch visuelle Beobachtung	77
β) Temperaturmeßfarben	78
γ) Segerkegel	79
B. Sättigungsdruck (Dampfdruck)	
1. Begriff	79
2. Sättigungsdruck des Wasserdampfes	80
a) Sättigungsdruck des Wasserdampfes über Eis und über unterkühltem Wasser .	80
b) Sättigungsdruck des Wasserdampfes über Wasser bei 0–100°	81
c) Siedetemperatur des Wassers zwischen 680 und 800 Torr	83
d) Dampfspannung, Feuchtigkeitsgehalt und Wärmeinhalt von Gasen zwischen –30° und +100° im Sättigungszustand und bei einem Gemischdruck von 760 Torr	84
e) Eigenschaften des Wassers und Wasserdampfes im Sättigungszustand	88
f) Raumgewicht des überhitzten Wasserdampfes	89
g) Spezifisches Volumen des Wassers und des überhitzten Dampfes	90
h) Wärmeinhalt des Wassers und des überhitzten Dampfes	91
i) Dampfspeicherung	92
k) Sättigungsdruck des Wasserdampfes über verdünnter Schwefelsäure	93
l) Sättigungsdruck des Wasserdampfes über Kochsalzlösungen	93
3. Sättigungsdruck sonstiger Stoffe	93
a) Teildruck von Ammoniak über wäßrigen Ammoniaklösungen	93
b) Sättigungsdruck verschiedener organischer und anorganischer Stoffe	94
c) Sättigungsdruck des Benzols und Benzolgehalt des Gases	94
d) Sättigungsdruck des Naphthalins und Naphthalingehalt des Gases	95
e) Sättigungsdruck verflüssigter Gase	95
α) Kohlenwasserstoffe	95
β) Sonstige Gase	96
4. Gasspeicherung in Stahlflaschen	96
a) Höchstzulässige Füllung von Stahlflaschen mit verdichteten und verflüssigten Gasen	96
b) Zulässiger Höchstdruck für verdichtete Gase bei 15°	96
c) Notwendiger Prüfdruck von Behältern für verflüssigte Gase	97
d) Nutzinhalt der gebräuchlichen Stahlflaschen für verdichtete und verflüssigte Gase	97
e) Maße der Stahlflaschen für Propan, Propylen, Butan und Ruhrgasöl	98
f) Maße von Treibstoffbehältern für Flüssiggase an Kraftfahrzeugen	98
C. Plancksches Gesetz	
1. Begriff	99
2. Gehalt des Benzolwaschöls und des Gases an Benzolkohlenwasserstoffen in Ab- hängigkeit von der Temperatur	100
3. Gleichgewichtsdrucke zwischen Gehalt von Steinkohlengas und Benzolwaschöl an Benzolkohlenwasserstoffen	100

D. Zustandsgleichung der Gase

1. Begriff	101
2. Konstanten für die van der Waals'sche Zustandsgleichung	102
3. pv-Werte verschiedener Gase	102

E. Kritische Erscheinungen

1. Begriff	103
2. Kritische Konstanten verschiedener Gase	104
3. Kritische Konstanten von Kohlenwasserstoffen	104

F. Joule-Thomson-Effekt

1. Begriff	104
2. Joule-Thomson-Effekt verschiedener Gase	105

G. Wärmeausdehnung

1. Begriff	107
2. Lineare Ausdehnung fester Stoffe	108
3. Längenänderungen des Silikasteines bei den Umwandlungstemperaturen der Kieselsäure	109
4. Mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient feuerfester Steine zwischen 20° und 1000°	109
5. Ausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten bei 20°	110
6. Volumenausdehnung verschiedener Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur	110

H. Verdampfungswärme

1. Begriff	110
2. Verdampfungswärme verschiedener Gase	111
3. Verdampfungswärme verschiedener organischer Stoffe	111
4. Verdampfungswärme von Steinkohlenteerölfractionen	112

J. Spezifische Wärme

1. Begriff	112
2. Zunahme der spezifischen Wärme $\Delta c_p = c_p - c_{p0}$ der reinen Gase beim Übergang vom idealen zum realen Gaszustand bei $p = 1$ Atm sowie bei Druckerhöhung um 1 Atm	115
3. Wahre spezifische Wärmen c_p reiner Gase in kcal/kmol. Grad bei verschiedenen Temperaturen t (°C) im idealen Gaszustand	115
4. Wahre spezifische Wärmen c_p reiner Gase und Dämpfe in kcal/Nm ³ , Grad bei verschiedenen Temperaturen t (°C) im idealen Gaszustand	116
5. Wahre spezifische Wärmen c_p von Propan und Butan	117
6. Mittlere spezifische Wärme des c_p reiner Gase und Dämpfe in kcal/Nm ³ , Grad bei verschiedenen Temperaturen t (°C) im idealen Gaszustand	117

7. Mittlere spezifische Wärme von Luft, Brenngasen und deren Abgasen in Abhängigkeit von der Temperatur	118
8. Wahre spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes	119
9. Mittlere spezifische Wärme des überhitzten Wasserdampfes in kcal/kg. °C, von der Sättigungstemperatur an gerechnet	119
10. Spezifische Wärme von Wasser	120
11. Spezifische Wärme anorganischer Stoffe	120
12. Mittlere spezifische Wärme von feuerfesten Stoffen	121
13. Spezifische Wärme von Ammoniakprodukten	121
14. Spezifische Wärme von wäßrigen Ammoniaklösungen	122
15. Spezifische Wärme von festen Brennstoffen	122
16. Spezifische Wärme organischer Stoffe	124
17. Spezifische Wärme von Benzolzerlegnissen und Benzolwaschölen von 92–22°C ..	124
K. Dissoziation der Gase und Gleichgewichtskonstanten	
1. Begriff der Dissoziation	125
2. Gleichgewichtskonstanten verschiedener Reaktionen	126
3. Dissoziations-Gleichgewichtskonstanten	127
4. Dissoziation von Kohlendioxyd	130
5. Dissoziation von Wasserdampf	130
6. Entropie $S^{\circ}_{298,1^{\circ}\text{K}}$ verschiedener Elemente und anorganischer Verbindungen ...	131
7. Entropie $S^{\circ}_{298,1^{\circ}\text{K}}$ verschiedener organischer Verbindungen	131
L. Bildungswärme	
1. Begriff	131
2. Bildungswärme verschiedener Gase und Dämpfe	132
3. Bildungswärme verschiedener sonstiger Stoffe	133
M. Wärmeübertragung	
1. Wärmeleitfähigkeit	133
a) Allgemeines	133
b) Wärmeleitfähigkeit von Gasen und Dämpfen anorganischer Stoffe	135
c) Wärmeleitfähigkeit von Gasen und Dämpfen organischer Stoffe	136
d) Wärmeleitfähigkeit von verschiedenen Isolierstoffen	136
e) Wärmeleitfähigkeit verschiedener fester Stoffe	137
f) Wärmeleitfähigkeit feuerfester Baustoffe	138
g) Wärmeleitfähigkeit von anorganischen Flüssigkeiten	138
h) Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten verschiedener Art	139
i) Temperaturleitfähigkeit	139
2. Wärmestrahlung	140
a) Allgemeines	140
b) Werte für die Strahlungszahl	141
c) Strahlungsaustausch unter bestimmten geometrischen Bedingungen	143
d) Strahlung zwischen Gasen und Wänden	144

3. Wärmeübertragung durch Berührung (Konvektion)	145
a) Allgemeines	145
b) Besondere Fälle	148
c) Wärmedurchgang	149

IV. BRENNTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

A. Heizwert (Verbrennungswärme)

1. Begriff	151
2. Heizwert von festen Brennstoffen	152
a) Heizwert des Kohlenstoffs	152
b) Heizwert verschiedener Kohlenstoffarten	152
c) Heizwert von Hochtemperaturkoks	153
d) Oberer Heizwert von Hochtemperaturkoks bei verschiedenen Asche- und Wassergehalten	153
e) Unterer Heizwert von Hochtemperaturkoks bei verschiedenen Asche- und Wassergehalten	153
f) Oberer Heizwert von festen Brennstoffen	154
g) Wärmetönungen der Vergasungsreaktionen des Kohlenstoffs	154
3. Heizwerte der reinen Brenngase	155
4. Hilfstafel zur Berechnung des oberen Heizwertes von Brenngasen	156
5. Oberer Heizwert verschiedener organischer Stoffe	158

B. Luftbedarf und Verbrennungserzeugnisse

1. Allgemeines	158
2. Annäherungsformeln für die Berechnung des Luftbedarfs und Rauchgasvolumens von festen und flüssigen Brennstoffen bei bekanntem unterem Heizwert	163
3. Kohlendioxydgehalt und mittlere trockene Rauchgasmenge bei der Verbrennung von festen Brennstoffen in Abhängigkeit von der Luftüberschußzahl	165
4. Taupunkt der Abgase	166
5. Chemismus der Verbrennungsvorgänge in Flammen	166

C. Verbrennungstemperaturen

1. Allgemeines	168
2. Berechnungsbeispiele	169
3. Beobachtete höchste Flammentemperaturen verschiedener Gase bei der Verbrennung mit Luft	173
4. Beobachtete höchste Flammentemperaturen verschiedener Gase bei Verbrennung mit Sauerstoff	173

D. Zündtemperaturen (Zündpunkte) brennbarer Gase und Dämpfe

1. Begriff	173
2. Niedrigste Zündtemperaturen reiner Gase in Mischung mit Luft und Sauerstoff bei 1 at.	174

3. Zündtemperaturen fester Brennstoffe (bei Luftüberschuß)	174
4. Niedrigste Zündtemperaturen von Dämpfen in Mischung mit Luft bei 1 at	174
E. Flammpunkt und Brennpunkt von Flüssigkeiten	
1. Begriff	175
2. Flammpunkt verschiedener Stoffe	175
F. Zündgrenzen von Gasen und Dämpfen	
1. Begriff	176
2. Zündgrenzen reiner Gase im Gemisch mit Luft bei 20° und 1 at	177
3. Zündgrenzen reiner Gase im Gemisch mit Sauerstoff bei 20° und 1 at	177
4. Zündgrenzen technischer Gase im Gemisch mit Luft bei 20° und 1 at	177
5. Zündgrenzen von Dämpfen im Gemisch mit Luft	178
6. Höchstzulässige Sauerstoffkonzentration in Gemischen brennbarer Gase mit Luft und Stickstoff bzw. Kohlendioxyd, unterhalb der keine Zündung und Verbrennung möglich ist	178
G. Abhebdruck von Gasen und Dämpfen (Löschdruck)	
1. Begriff	178
2. Abhebdruck verschiedener reiner und technischer Gase	179
3. Abhebdruck verschiedener Dämpfe	179
H. Zündgeschwindigkeit und Verbrennungsdichte reiner und technischer Gase	
1. Allgemeines	179
2. Zündgeschwindigkeit der Gase	180
3. Höchste Zündgeschwindigkeit verschiedener Gase bei Verbrennung mit Luft und mit Sauerstoff	182
4. Verbrennungsdichte (spezifische Flammenleistung) der Gase	185

V. HILFSTAFELN

A. Einheiten und Kurzzeichen	190
B. Bezeichnung der dezimalen Teile und der Vielfachen von Maßeinheiten	191
C. Physikalisches und technisches Maßsystem	
1. Grundeinheiten	191
2. Abgeleitete Einheiten	192
3. Konstanten	192

D. Druckeinheiten

1. Begriff	193
2. Vergleichstafel für Druckeinheiten	193
3. Umrechnungstafel von mm Wasserdruck in mm Quecksilberdruck (Torr)	194
4. Umrechnungstafeln von Torr in Millibar	194

E. Energieeinheiten

1. Wärmeeinheiten und mechanisches Wärmeäquivalent	195
2. Elektrische Leistung (Watt)	196
3. Umrechnungseinheiten für Energieeinheiten	196

F. Englische und amerikanische Maßsysteme

1. Längenmaße	197
2. Flächenmaße	197
3. Volumenmaße	197
4. Gefäßmaße für Flüssigkeiten	197
5. Gefäßmaße für trockene Güter	197
6. Gewichtsmaße	197
7. Umrechnung von englischen Zoll in Millimeter	198

G. Vergleichstafel für deutsche, englische und amerikanische Maßsysteme 199

H. Prüfsiebe und Körnungen

1. Deutsche Prüfsiebsätze	202
a) Rundloch-Siebsatz	203
b) Maschen-Siebsatz	203
2. Englischer Siebsatz des Institute of Mining and Metallurgy (I. M. M.)	204
3. Amerikanischer Standard-Siebsatz	204
4. Körnungen von Steinkohle	205
5. Körnungen von Koks	206

J. Kennfarben für Rohrleitungen

207

K. Farbanstrich für Stahlflaschen

208

L. Gifte und Vergiftungen

208

M. Beständigkeit von Werkstoffen gegenüber den wichtigsten Gasen und
verschiedenen Flüssigkeiten

212

N. Grundgrößen, Bezeichnungen und Einheiten in der Lichttechnik

214

VORWORT ZUR ZWEITEN AUFLAGE

Die günstige Aufnahme der *Gastafeln* führte rasch zur Notwendigkeit der Bearbeitung einer Neuauflage, deren Erscheinen sich jedoch leider aus zeitbedingten Gründen verzögerte.

Die rasche Entwicklung der Forschung auf dem Gebiet der Brennstofftechnik im Verlauf des letzten Jahrzehnts seit Erscheinen der ersten Auflage erforderte eine Verbesserung und Ergänzung zahlreicher Zahlenwerte. Ebenso wurden weitere Zahlentafeln hinzugefügt. Dabei war es mein Bestreben, das Zahlenmaterial auf den neuesten Stand zu bringen, die Grundeinteilung möglichst weitgehend beizubehalten und den Umfang der zweiten Auflage nicht wesentlich zu erweitern. — Die erläuternden Einleitungen zu den einzelnen Kapiteln haben sich als zweckmäßig erwiesen und wurden beibehalten.

Ich hoffe daher, daß die *Gastafeln* in der verbesserten zweiten Auflage die gleiche gute Aufnahme finden mögen wie die erste Auflage.

Vorschläge für Ergänzung und Verbesserung des Inhalts nehmen der Verfasser und der Verlag stets dankbar entgegen. Ferner danke ich den zahlreichen Fachkollegen, die mir wertvolle Ratschläge nach dem Erscheinen der ersten Auflage übermittelten.

Dem Verlag R. Oldenbourg, München, danke ich erneut für seine Mühewaltung bei der Drucklegung und Ausstattung der zweiten Auflage.

Trostberg, Obb., August 1951.

Horst Brückner

I. EINTEILUNG DER BRENNSTOFFE UND DEREN MITTLERE ZUSAMMENSETZUNG

A. TECHNISCHE BRENNGASE

1. Unterteilung der technischen Brenngase¹⁾

Nr.	Gruppe	Gewinnung	Art	Unterart	Verbrennungswärme Ho kcal/Nm ³	Bemerkungen
1.	Naturgase	Entstehen ohne technische Einwirkung	Brennbare Erdgase	a) trockenes Erdgas b) nasses Erdgas	7 000-9 000 8 000-15 000	Enthält an Kohlenwasserstoffen im wesentlichen Methan Enthält neben Methan erhebliche Mengen Äthan, Propan und Butan (Flüssiggase) sowie höhere Kohlenwasserstoffe (Gasolin)
2.	Gase aus festen Brennstoffen	Entgasung	a) Schmelzgase	Holz-, Torf-, Braunkohlen-, Steinkohlen-, Ölschiefer-schmelzgas	2 500-9 000	Die Entgasungsgase enthalten als brennbare Hauptbestandteile Wasserstoff, Methan, Kohlenoxyd und schwere Kohlenwasserstoffe. Mit steigender Entgasungstemperatur nimmt der Gehalt an Wasserstoff zu, an Kohlenwasserstoffen relativ ab. Als inerte Bestandteile sind Kohlendioxyd und Stickstoff enthalten
			b) Verkockungsgase	Holz-, Torf-, Braunkohlen-, Stein-kohlengas	3 500-5 500	
		Vergasung	Schwachgase (a, b); a) mit Luft (Luftgas)	Gichtgas (Hoch-ofengas)	700-950	Entweicht als Nebenerzeugnis aus der Gicht des Hochofens (wobei chemische Reaktionen des Erzes und der glühende Koks der Beschickung zu seiner Bildung beitragen) und besteht vorwiegend aus Stickstoff, Kohlenoxyd und Kohlendioxyd
				Luftgas aus Abstichgeneratoren	900-1 100	Entsteht im Abstich-(Schlackenschmelz-) Generator aus festem Brennstoff (z. B. Koks) durch Behandlung mit Luft bei Brennstoffüberschuß. Es wird überall dort benutzt, wo ein Luftgas mit wenig Wasserstoff erwünscht ist (z. B. in der Aluminiumindustrie)
		b) mit Luft und Wasserdampf gleichzeitig	Generatorgas	800-1 800	Entsteht durch Vergasen von festen Brennstoffen im kontinuierlichen Betrieb mit einer zur vollständigen Verbrennung unzureichenden Menge Luft unter Zusatz von Wasserdampf od. mit feuchter Luft. Wird das Generatorgas als Treibgas benutzt und das Vergasungsmittel vom Motor durch Ansaugen in den Generator gebracht, dann spricht man von Sauggas. Generatorgase bestehen etwa zur Hälfte aus Stickstoff; die brennbaren Anteile bestehen hauptsächlich aus Kohlenoxyd und Wasserstoff	

3.	Gase aus flüssigen Brennstoffen	<p>Wassergase (c): c) mit Wasserdampf</p>	<p>Kokwasser gas Kohlenwasser gas karburiertes Wassergas</p>	<p>2500-2900 3200-3500 3000-4500</p>	<p>Entsteht durch Einblasen von Wasserdampf in hoch erhitzten Koks. Besteht etwa zur Hälfte aus Wasserstoff neben hoh. Kohlenoxydgeh.</p> <p>Entsteht durch Einblasen von Wasserdampf in entgaste Stein- oder Braunkohle; es ist also ein Gemisch von Schweißgas und Kokswassergas. Dem entspr. die Zusammensetzung</p> <p>Entsteht durch Vermischen von Kokswassergas mit Spaltgasen aus Ölen oder Teeren, die entweder fein verteilt zusammen mit dem Wasserdampf oder nach erfolgter Wassergasbildung in einen Karburator eingespritzt und in diesem zersetzt werden. Die Spaltgase bedingen im karburierten Wassergas einen größeren Gehalt an Kohlenwasserstoffen. Auch Flüssiggase können zur Heizwertsteigerung dem Wassergas zugesetzt werden. (Kaltkarburierung oder Verwendung der Flüssiggase als Rohstoff der Wassergaserzeugung)</p>	<p>Die Bildung von Wassergas ist ein wärmeverbrauchender (endothermer) Vorgang. Die Wärme zur Aufrechterhaltung der Reaktionstemperatur wird entweder im diskontinuierlichen Betrieb (abwechslndes Einblasen von Luft [Blasen] und Wasserdampf [Gasen]) oder im kontinuierlichen Betrieb zugeführt. Für letzteren Fall gibt es folgende Möglichkeiten:</p> <p>a) Außenbeheizung des Vergasungsraumes; b) Spül- oder Wälzgasbeheizung durch überhitzte Kreislaufgase; c) gleichzeitiges Einblasen von Wasserdampf und Sauerstoff (z. B. Sauerstoffdruckvergasung); d) elektrische Beheizung (Abfall- oder Überschußstrom, Brennstoffzelle als elektrischer Widerstand)</p>
	Verdampfung	d) mit Sauerstoff	Kohlenoxyd	2900-3000†	Entsteht durch Vergasen von Koks mit trockenem Sauerstoff als technisch reines (>90proz.) Kohlenoxyd	
	Zersetzung bei höheren Temperaturen	Kalthuftgase a) Destillationsgase b) Spaltgase	Benzin-Luftgas Benzol-Luftgas - Krackgase Ölgase	2000-4000 15000-20000 12000-18000 8000-11000	Entstehen durch Beladen von Luft mit Benzin- oder Benzoldämpfen. Die Konzentration an brennbaren Dämpfen liegt oberhalb der oberen Explosionsgrenze	
					Werden bei der fraktionierten Destillation von Teeren und Ölen als Nebenprodukt abgespalten. Sie bestehen überwiegend aus Kohlenwasserstoffen	
					Entstehen als Nebenprodukt bei der thermischen Zersetzung (Krackung, Spaltung) von höhermolekularen Kohlenwasserstoffen zu Benzin. Ihre Zusammensetzung entspricht etwa der Destillationsgase	
					Entstehen aus Gasöl oder Schweißteer im Regenerativ- oder Rekuperativverfahren bei 700 bis 800°C. Sie enthalten viel Kohlenwasserstoffe neben Wasserstoff und wenig Kohlenoxyd	

4. Gase aus gasförmigen Brennstoffen	Mischung mit Luft	Kaltluftgase	Propan-Luftgas Butan-Luftgas	3 000-4 000	Entsprechen den Kaltluftgasen unter 3. und werden in einzelnen Gasversorgungsbereichen in Rohrnetzen verteilt
	Chemische Umwandlung (Teiloxidation)	Umwandlungsgase	a) Konvertierungsgase	2 500-5 000	Entstehen aus kohlenoxydhaltigen Gasen durch katalytische Behandlung mit Wasserdampf bei 400 bis 500° C zur Herstellung von Wasserstoff, von Synthesegasen oder von kohlenoxydarmer Gasen (Gasentgiftung). Dem entspricht ihre Zusammensetzung. In der Regel wird das durch die Konvertierung entstehende Kohlendioxid vor der Verwendung der Gase entfernt
	Spaltung	Spaltgase	b) Synthesegas aus unvollständiger Methanverbrennung	3 000	Entsteht durch Behandlung von Methan mit Sauerstoff in einer zur vollständigen Verbrennung unzureichenden Menge. Es besteht aus Wasserstoff und Kohlenoxyd
			a) Wasserstoff	3 050 ^{*)}	Entsteht durch thermische Zersetzung gasförmiger Kohlenwasserstoffe unter Abspaltung von Kohlenstoff (Ruß)
			b) Acetylen	14 000 ^{*)}	Entsteht durch kurzzeitiges Erhitzen von Gemischen gasförmiger Kohlenwasserstoffe im elektrischen Lichtbogen
	Synthese	Synthesegase	a) Methan	7 000-9 000 ^{*)}	Entsteht durch katalytische Umwandlung kohlenoxyd- (und/oder) kohlenoxydhaltiger Breungase mit Wasserstoff (Treibgas)
			b) Hydriergas	5 000-6 500	Restgas bei der Hochdruckhydrierung von festen und flüssigen Brennstoffen. Es besteht aus Kohlenwasserstoffen neben Wasserstoff
	Physikalische Zerlegung von Gasgemischen	Flüssiggase	a) Gasol	13 000-18 000	In Kohlendestillationsgasen enthalten und daraus gewonnen. Besteht etwa je zur Hälfte aus gesättigten und ungesättigten Kohlenwasserstoffen, die in flüssigem Zustand in Druckbehältern (z. B. Stahlflaschen) aufbewahrt werden
			b) Propan und Butan	22 000-28 000 ^{*)}	Enthalten in pansen Erdgasen, in Destillations- u. Spaltgasen und Nebenprodukt der Synthese flüssiger Brennstoffe. Aufbewahrung in Druckbehältern. Verwendung im Haushalt und in Gewerbetrieben sowie als Treibgas
		Wasserstoff	-	3 050 ^{*)}	-
		Methan	a) Reichgas	5 000-6 500 ^{*)}	Restgas bei der Zerlegung von Kohlenoxydgemisch aus Methan und Wasserstoff
			b) Methan rein	9 500 ^{*)}	Abcheidung durch stufenweise Verflüssigung

5. Gase nach sonstigen Verfahren	Methan	a) Klärgas	6 000-9 000 ¹⁾	Entsteht bei der biologischen Abwasseraufbereitung und enthält vorwiegend Methan, das zunächst durch Schwefelwasserstoff und Kohlendioxyd verunreinigt ist.
		b) Mist- oder Dunggas		
	Wasserstoff	-	3050 ²⁾	Wird außer nach den unter 4. genannten Verfahren erhalten durch Behandlung von reduziertem Eisen bei 600 bis 700° C mit überhitztem Wasserdampf (als Regenerationsverfahren), durch Umsetzung von Metallen mit Laugen oder Säuren und durch Elektrolyse von Wasser.
	Acetylen	-	14 000 ²⁾	Entsteht außer nach 4. durch Zersetzung von Kalziumkarbid mit Wasser.

¹⁾ Nach DIN 1340.

²⁾ Für die Verbrennungswärmen der reinen Einzelgase s. S. 155.

Allgemeine Betriebsbezeichnungen

Stadtgas	Steinkohlengas (Koksogengas), Braunkohlengas, Wassergas, Kohlenwassergas oder Gemische und Umwandlungsprodukte aus den obengenannten Gasen	Stadtgas – früher vielfach Leuchtgas genannt – dient zur Versorgung von Gemeinden und Industrien aus einem der städtischen Gasversorgung dienenden Rohrnetz
Ferngas		Gasfernversorgung liegt vor, wenn Gas von Gaserzeugungsstätten auf weite Entfernungen unter erhöhtem Druck zugeleitet wird
Robgas	-	Robgas ist ungereinigtes Gas (früher auch als Produktionsgas bezeichnet)
Betriebsgas	-	Teilweise gereinigtes Gas
Reingas	-	Reingas – bei Generatorgas auch Kaltgas genannt – ist gereinigtes und von Wertstoffen und Verunreinigungen befreites, zu diesem Zweck meist abgekühltes Gas
Sauggas	-	Sauggas ist Generatorgas, das die Gasmaschine entsprechend ihrem Bedarf vom Generator ansaugt
Treibgas	-	Treibgas ist ein technisches Brenngas zum Antrieb von Fahrzeugmotoren. Als Treibgas können dienen: Flüssiggas sowie unter Hochdruck (z. B. Permeagas) oder Niederdruck gespeichertes Gas

2. Durchschnittliche Zusammensetzung der technischen Brenngase

	Steinkohlengas aus		Stadtgas			Stein- kohlen- wasser- gas	Klärgas
	Gaskohle	Kokskohle	Kokerei- gas (Fergas)	Stein- kohlen- und Wassergas	Stein- kohlen- u. Genera- torgas		
Gaszusammensetzung							
CO ₂ %	2	2,0	2,2	4,0	3,0	5,0	17,5
sKW %	4	3,5	2,0	2,0	2,0	0,2	—
O ₂ %	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,0	—
CO %	8	7	5,4	21,5	13,0	34,5	—
H ₂ %	50	54	56,8	51,5	49,0	48,5	—
CH ₄ %	34	30	23,9	17,0	19,0	5,5	80,0
N ₂ %	1,7	3,2	9,3	3,7	13,6	6,3	2,5
Ob. Heizwert kcal/Nm ³	5900	5500	4600	4300	4150	3100	7600
Unt. Heizwert kcal/Nm ³	5250	4900	4075	3830	3700	2800	6840
Dichteverh. (Luft = 1)	0,41	0,39	0,38	0,47	0,48	0,54	0,74

	Stein- kohlen- schwel- gas	Braun- kohlen- schwel- gas	Wasser- gas	Ölkarbu- riertes Wasser- gas	Gene- ratorgas	Gichtgas	Synthese- restgas
	Gaszusammensetzung						
CO ₂ %	3,0	40,0	6,8	6,0	6,0	7,5	35,0
sKW %	5,0	2,0	—	3,8	—	—	—
O ₂ %	—	—	—	—	—	—	—
CO %	5,0	6,0	38,5	33,5	28,5	29,0	10,0
H ₂ %	35,0	30,0	49,5	44,5	12,8	2,5	20,0
CH ₄ %	50,0	20,0	0,2	8,0	0,4	—	25,0
N ₂ %	2,0	2,0	5,0	4,2	52,3	61,0	10,0
Ob. Heizwert kcal/Nm ³	7100	3450	2700	3950	1250	950	3300
Unt. Heizwert kcal/Nm ³	6360	3080	2450	3600	1215	940	2960
Dichteverh. (Luft = 1)	0,49	0,85	0,56	0,58	0,88	0,99	0,88

3. Mittlere Zusammensetzung von Kokereigas (Fergas) und von Stadtgas (Steinkohlengas-Wassergasgemisch) nach Volumen und Gewicht

Gasanteil	Kokereigas			Stadtgas			
	Vol.- %	Gew.- %	1 Nm ³ enthält g	Gasanteil	Vol.- %	Gew.- %	1 Nm ³ enthält g
CO ₂	2,2	9,1	43,5	CO ₂	4,0	13,6	79,1
sKW	2,0	5,3	25,3	sKW	2,0	4,3	25,2
O ₂	0,4	1,2	5,7	O ₂	0,3	0,7	4,3
CO	5,4	14,2	67,5	CO	21,5	44,4	256,9
H ₂	56,8	10,7	51,1	H ₂	51,5	8,0	48,3
CH ₄	23,9	36,1	171,5	CH ₄	17,0	21,0	122,0
N ₂	9,3	23,4	111,6	N ₂	3,7	8,0	48,3
	100,0	100,0	476,2		100,0	100,0	580,1

4. Durchschnittlicher Gehalt technischer Brenngase an schädlichen Begleitstoffen vor und nach der üblichen Gasreinigung

		Steinkohlengas		Wassergas		Generatorgas	
		vor Reinigung	nach Reinigung	vor Reinigung	nach Reinigung	vor Reinigung	nach Reinigung
Wasserdampf	g/m ³	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
Sauerstoff	Vol.-%	0-0,5	< 0,3	0-0,5	0-0,5	0-1	0-1
Schwefelwasserstoff ..	g/m ³	5-10	< 0,002	2-5	< 0,002	0,5-1	< 0,02
Schwefeldioxyd	g/m ³	-	-	0,5-1	-	1-3	-
Org. geb. Schwefel ...	g/100m ³	10-30	10-25	15-25	15-25	2-5	2-5
Ammoniak	g/100m ³	300-500	< 0,3	2-20	< 0,3	-	-
Zyanwasserstoff	g/100m ³	10-50	5-15	0-5	0-5	-	-
Stickoxyde	cm ³ /m ³	0,2-10	0,1-5	0-0,5	0-0,5	5-50	5-50
Naphthalin	g/100m ³	20-30	2-10	-	-	-	-

5. Richtlinien des DVGW über die Beschaffenheit von Stadtgas¹⁾

a) Brenneigenschaften

Oberer Heizwert im Jahresmittel	4200-4600 kcal/Nm ³ .
unterer Heizwert entsprechend	3800-4200 kcal/Nm ³ .

Der obere Grenzwert des Heizwertes gilt für Kohlengas (Kokereigas), der untere Grenzwert für Mischgas aus Kohlengas und Vergasungsgas.

Die Höhe des Heizwertes innerhalb dieser Grenzen ist allein noch kein Maßstab für das Brennverhalten des Gases.

Die örtlich zulässigen Schwankungen des Heizwertes sollen weniger als $\pm 1\%$ betragen. Bei Vergleichsmessungen im Werk und auf Gasabnahmestellen ist ein zusätzlicher Meßfehler von je bis 50 kcal zulässig.

Dichteverhältnis (Luft = 1) 0,4-0,5, wobei die niedrigeren Werte für Kohlengas (Kokereigas), die höheren Werte für Mischgas aus Kohlengas und Vergasungsgas gelten.

Die örtlich zulässigen Schwankungen des Dichteverhältnisses sollen weniger als $\pm 3\%$ betragen.

Der Gasdruck im werkeigenen Gasverteilungsnetz soll an keiner Stelle 60 mm WS unterschreiten.

Die für die Bestimmung der Zündgeschwindigkeit und der sich daraus ableitenden Brenneigenschaften des Stadtgases vorhandenen Meßgeräte genügen zur Zeit noch nicht für die genaue Festlegung von Grenzwerten. Vor-

¹⁾ Gas- und Wasserfach 82 (1939), S. 745.

läufig wird empfohlen, beim Ottprüfer den Flackerpunkt zwischen 60 und 100, beim Prüfbrenner die Prüfbrennerzahl zwischen 65 und 120 zu halten, wobei die niedrigeren Werte für Mischgas aus Kohlengas und Vergasungsgas, die höheren Werte für Kohlengas (Kokereigas) gelten. Die örtliche Gleichmäßigkeit soll bei einem bestimmten Wert liegen.

b) Reinheitsanforderungen

Gehalt an Sauerstoff unter 0,5 (tunlichst unter 0,3) Vol.-%.

Gehalt an Schwefelwasserstoff unter 2 g/100 m³; während der Gasaufbereitung ist eine Entfernung des Schwefelwasserstoffs unter 0,2 g/100 m³ (Empfindlichkeitsgrenze der Bleiazetatprobe) anzustreben.

Gehalt an Ammoniak unter 0,3 g/100 m³.

Gehalt an Naphthalin je nach der Gastemperatur $\frac{5-10}{p}$ g/100 m³.

(p in Atm).

Die Gehalte des Stadtgases an organisch gebundenem Schwefel, Zyanwasserstoff und Stickoxyd lassen sich durch die übliche Gasreinigung nicht begrenzen. Im allgemeinen beträgt der Gehalt des Stadtgases an

organisch gebundenem Schwefel 10-25 g/100 m³,
 Zyanwasserstoff 5-15 g/100 m³,
 Stickoxyd 0- 2 cm³/m³.

Das Stadtgas soll praktisch frei von Teernebeln sein. Der Gehalt des Stadtgases an den zuletzt genannten Verunreinigungen kann bei Durchführung von Feinreinigungsverfahren wesentlich herabgesetzt werden.

6. Durchschnittliche Zusammensetzung von Kohlenwasserstoffgasen

	„Trockenes“ Erdgas	„Nasses“ Erdgas	Erdöl- destillations- gas	Erdöl- Krackgas	Stabilisiergas
Methan %	80-95	20-50	} 75-80	30-40	0-5
Äthan %	2-10	20-30		10-15	15-20
Propan %	0-3	10-20		3-5	20-25
Butan %	0-2	3-10		2-4	2-5
Pentan %	0-2	2-5		-	0-1
Äthylen %	-	-	} 15-20	20-25	15-20
Propylen %	-	-		15-20	25-30
Butylen %	-	-		5-8	5-10
CO ₂ + N ₂ %	2-20	2-20	2-5	2-5	0-1
H ₂ S %	0-2	0-2	0-2	0-2	0-1
CO %	-	-	0-1	-	-
H ₂ %	-	-	-	0-5	0-1

7. Beschaffenheit der Flüssiggase¹⁾

a) Mittlere Zusammensetzung von technischem Propan, Propylen und Butan

Die als Propan, Propylen und Butan bezeichneten und in entsprechend gekennzeichneten Behältern beförderten verflüssigten Gase müssen folgenden Bedingungen genügen:

1. Propan: mindestens 95 Gewichts-% Propan, als Rest Butan, Butylen oder deren Isomere und etwa 3 Gewichts-% Äthan und 1 Gewichts-% Äthylen. Propan darf bis zur Hälfte durch Propylen ersetzt werden.

Der Anteil der leichteren Kohlenwasserstoffe ist so zu bemessen, daß der Dampfdruck des Gasgemisches bei 40° C 16,7 atü nicht übersteigt.

2. Propylen: mindestens 95 Gewichts-% Propylen, als Rest Butylen, Butan oder deren Isomere und etwa 2 Gewichts-% Äthylen oder etwa 3 Gewichts-% Äthan. Propylen darf bis zur Hälfte durch Propan ersetzt werden. Der Anteil der leichteren Kohlenwasserstoffe ist so zu bemessen, daß der Dampfdruck des Gasgemisches bei 40° C 16,7 atü nicht übersteigt.

3. Butan: mindestens 95 Gewichts-% Butan (Normalbutan, Isobutan), als Rest Propan, Propylen bzw. Pentan, Penten. Die Butane dürfen bis zur Hälfte durch Butylen ersetzt werden. Der Anteil der leichteren Kohlenwasserstoffe ist so zu bemessen, daß der Dampfdruck des Gasgemisches bei 40° C 8 atü nicht übersteigt.

b) Reinheitsanforderungen an Propan, Propylen und Butan

Der Gehalt an organisch gebundenem Schwefel darf 250 mg/Nm³ nicht übersteigen, Schwefelwasserstoff und Ammoniak dürfen höchstens bis zu je 0,2 mg/Nm³ vorhanden sein.

Elementarer Schwefel, Mercaptane und Kohlenoxysulfid dürfen nicht nachweisbar sein. Öl, Harze und korrodierende Verbindungen dürfen ebenfalls nicht enthalten sein.

Wassergehalt: Unter Druck dürfen sich oberhalb -30° C keine Eis- bzw. Kohlenwasserstoffhydrat-Abscheidungen bilden.

¹⁾ Vgl. DIN 1875.