



Leseprobe

Benno Lendt, Günter Cerbe

Grundlagen der Gastechnik

Gasbeschaffung – Gasverteilung – Gasverwendung

ISBN (Buch): 978-3-446-44965-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-44966-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44965-7>

sowie im Buchhandel.

# Vorwort zur achten Auflage

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage vor 35 Jahren haben energie- und umweltpolitische Entwicklungen die Bedeutung des Erdgases weiter erhöht. Umso wichtiger ist es, dass kompetente Fachleute für den sicheren und umweltschonenden Einsatz dieses Energieträgers bereitstehen. Zu deren Aus- und Weiterbildung will dieses Fachbuch beitragen.

In der nunmehr achten Auflage wurden einige Themen vollständig neu bearbeitet, so z. B. der Bereich der Bio- und Synthesegase aus regenerativen Quellen, die Speicherung und Konditionierung von Erdgas, mit der ErP-Richtlinie veränderte Anforderungen an die Effizienz von Gasanwendungen sowie ein mit der fortschreitenden Liberalisierung des Gasmarktes erfolgter tiefgreifender Strukturwandel, der zu neuen Marktrollen und Aufgaben in der öffentlichen Gasversorgung geführt hat.

Einige Bereiche wurden neu gestaltet und zugleich aktualisiert, wie z. B. die Erzeugung von Wasserstoff und Methan (Power to Gas) aus regenerativ erzeugtem Strom und neu formulierte Anforderungen an die Gasbeschaffenheit in der DVGW-G 260. Rechnung getragen wurde auch der gestiegenen Bedeutung der Konditionierung von Brenngasen im Zusammenhang mit der Einspeisung von Bio- und Synthesegas in das Erdgasnetz. Aktuelle Ergebnisse des 5. IPCC-Berichts „Klimaänderung 2013“ wurden aufgenommen. In allen Fällen wurde der neueste Stand berücksichtigt, z. B. bei der novellierten Energieeinsparverordnung EnEV 2016, dem EEWärmeG sowie der Ökodesign-(ErP-)Richtlinie. Nicht mehr einfließen konnte im Kapitel über Gasanlagen in Gebäuden und auf Grundstücken die zurzeit in Überarbeitung befindliche DVGW-TRGI.

Der Sicherheit der Gasversorgung wurde – wie bisher – besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Neben einem eigenen Kapitel zieht sie sich durch das gesamte Buch, wie z. B. bei den Fragen der Manipulationserschwerung, der Brandsicherheit, der Druckabsicherung und der Odorierung. Diese Themen wurden z. T. weiter vertieft.

Bei Gesetzen, Verordnungen, Technischen Regeln und Rechenverfahren sowie bei Stoffwerten wurde der aktuelle Stand berücksichtigt. Die behandelten technischen Regeln sollen einen ersten Einstieg und Überblick in das Regelwerk – insbesondere des DVGW – ermöglichen, können es aber keineswegs ersetzen. Etliche Bilder und Diagramme wurden zusätzlich aufgenommen, andere wurden, oft durch Mithilfe von Unternehmen der Gaswirtschaft und des DVGW, auf den neuesten Stand gebracht.

Zielsetzung und Konzeption des Buches mit dem Bezug zur Praxis werden auch in der achten Auflage unverändert beibehalten. Wie bisher streben wir ein Fachbuch mit Lehrbuchcharakter an. Daher ist die Darstellung der verschiedenen Kapitel sorgfältig aufeinander abgestimmt und durch insgesamt 162 Beispiele und Aufgaben miteinander verknüpft. Durch die Vielzahl der Tabellen und Diagramme hat sich das Buch aber auch als Handbuch bewährt.

Dankenswerterweise haben sich auch für die achte Auflage ausgewiesene Fachleute zur Mitarbeit bereitgefunden, sodass mit sechs Hochschullehrern und fünf Autoren aus der Gaswirtschaft eine ausgewogene fachliche Zusammensetzung der Verfasser gewährleistet ist.

In die Neubearbeitung sind zahlreiche Anregungen aus den Hochschulen und aus der Gaswirtschaft eingeflossen. Darüber hinaus haben Mitglieder der DVGW-Hauptgeschäftsstelle und der DVGW-Ausschüsse viele wertvolle Hinweise gegeben. Beispielhaft erwähnt seien an dieser Stelle die vielfältigen Hilfestellungen von Dr.-Ing. Torsten Birkholz, Geschäftsführer der DVGW/BDEW Landesgruppe Norddeutschland, Dr.-Ing. Bernhard Klocke, Bereichsleiter bei der Gelsenwasser AG und Geschäftsführer der Stadtwerke Haltern am See GmbH sowie Dipl.-Ing. Detlef Grunwald, Bereichsleiter der Stadtwerke Garbsen GmbH. Ohne die kollegiale und vertrauensvolle Unterstützung dieser vielen Fachleute wäre es gar nicht möglich gewesen, den jeweils neuesten Stand der Entwicklung darzustellen. Allen Fachkollegen, die uns selbstlos geholfen haben, danken wir herzlich.

Im September 2016

Benno Lendt

Der Herausgeber

Und die Autoren Klaus Brüggemann, Martin Dehli, Frank Gröschl, Klaus Heikrodt, Torsten Kleiber, Jürgen Kuck, Jens Mischner, Thomas Schmidt, Albert Seemann, Walter Thielen

# Inhalt

<b>Vorwort zur achten Auflage</b> .....	<b>V</b>
<b>Die Autoren</b> .....	<b>XXI</b>
<b>Geleitwort zur achten Auflage</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>Sponsoren</b> .....	<b>XXV</b>
<b>1 Brenngase im Energiemarkt; Vorkommen, Gewinnung und Aufbereitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Brenngasarten nach Herkunft und Entstehung .....	1
1.2 Gasaufkommen, Verbrauch, Reserven und Entwicklung .....	2
1.3 Erdgas .....	7
1.3.1 Lagerstätten, Aufsuche und Förderung .....	7
1.3.2 Aufbereitung .....	15
1.3.3 Transport .....	17
1.4 LNG (Liquefied Natural Gas) .....	20
1.5 Biomasse .....	23
1.5.1 Herkunft und Nutzung von Biomasse .....	23
1.5.2 Eigenschaften der Gase aus Biomasse .....	25
1.6 Biogase .....	26
1.6.1 Grundlagen der Vergärung .....	26
1.6.2 Verunreinigungen im Biogas und deren Wirkungen .....	28
1.6.3 Anlagenkonzepte .....	29
1.6.3.1 Biogas aus landwirtschaftlichen Anlagen .....	29
1.6.3.2 Klärgas .....	30
1.6.3.3 Deponiegas .....	30
1.6.4 Ressourcen, Perspektiven und derzeitiger Stand .....	31
1.6.5 Anforderungen an die Eigenschaften der Biogase aus der nachfolgenden Nutzung .....	32
1.6.5.1 Dezentrale Anlagen .....	33
1.6.5.2 Öffentliche Gasversorgung .....	34

1.7	Synthesegas aus fossilen und regenerativen Quellen .....	35
1.7.1	Entgasung .....	36
1.7.2	Vergasung .....	37
1.7.2.1	Vergasung schwerer Kohlenwasserstoffe .....	38
1.7.2.2	Vergasung von Kohle .....	38
1.7.2.3	Thermische Vergasung von Biomasse – Schwachgas ....	40
1.8	Flüssiggas .....	41
1.9	Wasserstoff .....	41
1.10	Gas als Brennstoff im Fahrzeugbetrieb .....	43
<b>2</b>	<b>Eigenschaften und Austausch von Brenngasen .....</b>	<b>47</b>
2.1	Gaszustand .....	47
2.1.1	Bezugszustände, Mengenangaben .....	47
2.1.2	Ideales und reales Verhalten .....	50
2.1.3	Gasgemische .....	59
2.1.4	Verflüssigte Gase .....	62
2.2	Gaskennwerte .....	64
2.2.1	Brennwert und Heizwert .....	64
2.2.2	Dichte und relative Dichte .....	71
2.2.3	Gasdruck .....	72
2.2.4	Wobbeindex .....	74
2.2.5	Gasmodul und Primärluftverhältnis .....	76
2.2.6	Methanzahl .....	78
2.2.7	Zündverhalten .....	79
2.2.8	Wärmekapazität, Viskosität .....	84
2.2.9	Stoffwerte nichtbrennbarer Gase .....	85
2.3	Einteilung der Brenngase .....	86
2.3.1	Einteilungskriterien .....	86
2.3.2	Gasfamilien .....	87
2.3.3	Prüfgase .....	92
2.3.4	Regenerativ erzeugte Gase .....	95
2.4	Austausch und Zusatz von Gasen .....	95
2.5	Umstellung und Anpassung von Gasanlagen .....	100
2.5.1	Umstellung von Gasanlagen .....	100
2.5.2	Anpassung der Gasgeräte .....	102
<b>3</b>	<b>Verbrennung der Gase .....</b>	<b>107</b>
3.1	Verbrennungsvorgang .....	107
3.2	Verbrennungsrechnung .....	109

3.3	Verbrennungskontrolle .....	119
3.3.1	Messmethode .....	119
3.3.2	Verbrennungsdreiecke .....	120
3.3.3	Berechnungsmethoden .....	124
3.4	Theoretische Verbrennungstemperatur .....	131
3.5	Verluste und Wirkungsgrade .....	136
3.5.1	Verluste bei Gasgeräten .....	136
3.5.2	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	139
3.5.3	Gesamtwirkungsgrad .....	143
3.5.4	Wandverlustwirkungsgrad .....	144
3.5.5	Teillastwirkungsgrad .....	144
3.6	Abgastaupunkt .....	150
<b>4</b>	<b>Rohrnetzberechnung .....</b>	<b>155</b>
4.1	Ermittlung des Spitzenvolumenstromes .....	155
4.2	Strömungstechnische Grundlagen .....	159
4.2.1	Allgemeines .....	159
4.2.2	Strömungsformen .....	160
4.2.3	Reibung und Rauigkeit .....	163
4.2.3.1	Integrale Rauigkeit .....	166
4.2.4	Einzelwiderstände .....	168
4.2.4.1	Einzelwiderstandsbeiwerte für Armaturen .....	169
4.2.4.2	Äquivalente Rohrlänge .....	169
4.2.5	Auftrieb .....	171
4.2.6	Gesamtdruckdifferenz bei der Gasfortleitung .....	172
4.2.7	Strömungsgeschwindigkeit .....	172
4.3	Druckverlustberechnung .....	174
4.3.1	Raumveränderliche Fortleitung bei realem Verhalten .....	174
4.3.2	Raumveränderliche Fortleitung ohne Berücksichtigung des realen Verhaltens .....	180
4.3.3	Raumbeständige Fortleitung .....	184
4.3.4	Überschlägige Druckverlustberechnung .....	193
4.4	Rohrnetze .....	196
4.4.1	Netzformen .....	196
4.4.2	Begriffe und Gesetzmäßigkeiten .....	197
4.4.3	Berechnungsverfahren .....	199
4.4.4	Einsatz von EDV-Anlagen .....	207

<b>5</b>	<b>Gastransport – Gasverteilung</b>	<b>211</b>
5.1	Gasleitungen	211
5.1.1	Planung von Gasleitungen	211
5.1.1.1	Grundbegriffe, Vorschriften	211
5.1.1.2	Trassierung, Wegerecht	218
5.1.1.3	Zeitplan	218
5.1.1.4	Aufbau von Gasrohrnetzen	219
5.1.1.5	Bauteile des Gasrohrnetzes	220
5.1.1.6	Rohrwanddickenberechnung bei Stahlrohren	226
5.1.2	Bau von Gasleitungen	229
5.1.2.1	Rohrgrabenarbeiten	229
5.1.2.2	Rohrverlegungsarbeiten	230
5.1.2.3	Korrosionsschutz von Stahlrohrleitungen	231
5.1.2.4	Gas-Hausanschluss	233
5.1.3	Betrieb von Gasleitungen und Gasrohrnetzen	236
5.1.3.1	Inbetriebnahme neuverlegter Leitungen	237
5.1.3.2	Außerbetriebnahme von Leitungen	237
5.1.3.3	Rohrnetzüberwachung	237
5.1.3.4	Bereitschaftsdienst/Rufdienst	238
5.1.3.5	Rohrnetzinstandhaltung	238
5.2	Gas-Druckregelanlagen (GDR), Gas-Druckregel- und Messanlagen (GDRM)	239
5.2.1	Planung, Bau und Betrieb von GDR und GDRM	239
5.2.1.1	Grundbegriffe, Vorschriften	239
5.2.1.2	Arten und Bauausführung von GDR und GDRM	245
5.2.1.3	Aufbau von GDR bzw. GDRM, Baugruppen, Bauteile	248
5.2.1.4	Instandhaltung von GDR bzw. GDRM	278
5.2.2	Gasmengenmessung	278
5.2.2.1	Messverfahren	278
5.2.2.2	Eichpflicht der Gasmessung	286
5.2.2.3	Thermische Gasabrechnung	287
5.2.2.4	Mess- und Fernwirktechnik	288
5.2.3	Odorierung	288
5.2.3.1	Grundsätzliches	288
5.2.3.2	Odoriermittel	289
5.2.3.3	Erforderliche Odoriermittelzugabe	289
5.2.3.4	Hinweise	291
5.3	Verdichter-Anlagen	292
5.3.1	Verdichter in Gastransportleitungen	294
5.3.2	Verdichter in Speicher- und Verteilungsanlagen	297
5.4	Gasentspannungsanlagen	300
5.4.1	Thermodynamische Grundlagen	300
5.4.2	Anlagenauslegung	302

5.5	Netzsteuerung .....	305
5.6	Transportkosten .....	307
<b>6</b>	<b>Speicherung und Konditionierung von Erdgas .....</b>	<b>313</b>
6.1	Berechnung der erforderlichen Speicherkapazität .....	314
6.2	Speicherung in untertägigen Hohlräumen .....	319
6.2.1	Porenspeicher .....	319
6.2.2	Kavernenspeicher .....	323
6.3	Kugelgasbehälter und Röhrenspeicher .....	335
6.3.1	Kugelgasbehälter .....	335
6.3.2	Röhrenspeicher .....	336
6.4	Speicherleitung .....	338
6.5	Speicher für verflüssigtes Erdgas (LNG) .....	340
6.6	Konditionierung .....	341
6.6.1	Konditionierung von H-Gas und Luft zu L-Gas .....	341
6.6.2	Konditionierung mit Flüssiggas und Luft in Biogasanlagen und zur Spitzenlastdeckung .....	342
<b>7</b>	<b>Gasbrenner .....</b>	<b>349</b>
7.1	Einteilung und Anforderungen .....	349
7.2	Grundlegende Zusammenhänge .....	353
7.2.1	Freistrahл .....	353
7.2.1.1	Massenstromzunahme .....	353
7.2.1.2	Geschwindigkeits-, Konzentrations- und Temperaturverteilungen .....	355
7.2.2	Berechnung der Luftansaugung bei Injektorbrennern .....	356
7.2.3	Ausdehnung der Flamme und Flammenstabilisierung .....	363
7.2.3.1	Vormischbrenner .....	363
7.2.3.2	Diffusionsbrenner .....	369
7.2.4	Schadstoffbildung in Gasfeuerungen .....	373
7.3	Ausrüstung von Gasbrennern .....	378
7.3.1	Zündeinrichtung .....	380
7.3.2	Regelung der Brennerleistung .....	380
7.3.3	Sicherheitsabsperrearmaturen .....	386
7.3.4	Gasdruckregel- und Überwachungseinrichtungen .....	388
7.3.4.1	Druckregler (Druckregelgerät) .....	388
7.3.4.2	Gasdruckwächter .....	388
7.3.5	Funktionskontrolleinrichtung für das Gebläse .....	389
7.3.6	Flammenüberwachungseinrichtungen – Züandsicherungen .....	389
7.3.6.1	Möglichkeiten der Flammenüberwachung .....	390

7.3.7	Sonstige Mess- und Sicherheitseinrichtungen .....	394
7.3.7.1	Dichtheitskontrolleinrichtung (Leckgassicherung) .....	394
7.3.8	Beispiele für Gasbrenner .....	396
7.3.8.1	Gasbrenner in Heizungsanlagen .....	396
7.3.8.2	Flammlose Oxidation .....	398
<b>8</b>	<b>Gasgeräte in Haushalt und Gewerbe .....</b>	<b>403</b>
8.1	Übersicht und Einführung .....	403
8.1.1	Gesetzliche Grundlagen .....	403
8.1.2	Geräteeinteilung und Kennzeichnung .....	405
8.2	Gesetze, Verordnungen und Normen .....	410
8.2.1	Gasgeräte-Richtlinie .....	410
8.2.2	Energieeinsparverordnung 2016 (EnEV 2016) .....	415
8.2.2.1	Rechenverfahren .....	418
8.2.3	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) .....	420
8.2.4	Ökodesign Richtlinie .....	422
8.2.5	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) .....	423
8.3	Funktion und Anwendungsgebiete der Gasgeräte .....	427
8.3.1	Koch-, Wasch-, Trocknungs- und Kühleinrichtungen .....	427
8.3.2	Gaswasserheizer und Vorratswasserheizer .....	428
8.3.2.1	Gaswasserheizer .....	428
8.3.2.2	Vorratswasserheizer .....	431
8.3.2.3	Geräteausführungen .....	432
8.3.3	Gasheizkessel .....	434
8.3.3.1	Schallschutz .....	435
8.3.3.2	Abgasklappen .....	437
8.3.4	Brennwertnutzung bei Gasgeräten .....	438
8.3.5	Gasheizgeräte ohne Warmwasser als Wärmeträger .....	439
8.3.6	Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen .....	441
8.3.7	Brennstoffzellen .....	447
8.3.7.1	Funktionsprinzip .....	447
8.3.7.2	Brennstoffzellen – Typen und Anwendungs- möglichkeiten .....	448
8.3.7.3	Sicherheitstechnische Anforderungen; Entwicklungspotenzial .....	452
8.4	Lastberechnung und Auslegung .....	453
8.4.1	Wasserheizer .....	453
8.4.2	Umlaufwasserheizer .....	458
8.4.3	Kombiwasserheizer .....	460
8.4.4	Heizkessel .....	460

8.4.5	Heizstrahler .....	461
8.4.6	Gaswärmepumpen .....	463
8.5	Jahresgasverbrauch .....	465
8.5.1	Jahresgasverbrauch der Wasserheizer .....	466
8.5.1.1	Jahres-Wärmeaufwand für die Deckung des Trinkwasserwärmebedarfs .....	466
8.5.2	Jahresgasverbrauch der Gas-Zentralheizung .....	475
8.5.2.1	Jahres-Wärmeaufwand für die Deckung des Heizwärmebedarfs .....	475
8.5.2.2	Bestimmung der Aufwandszahl für die Wärmeerzeugung in Zentralheizungssystemen .....	478
<b>9</b>	<b>Gasinstallationen in Gebäuden und auf Grundstücken .....</b>	<b>489</b>
9.1	Allgemeine Grundlagen .....	489
9.2	Voraussetzungen für die Ausführung von Gasanlagen .....	490
9.3	Leitungsanlagen .....	491
9.3.1	Rohre .....	496
9.3.2	Form- und Verbindungsteile sowie sonstige Bauteile .....	499
9.3.3	Rohrverbindungen .....	499
9.3.4	Korrosionsschutz .....	499
9.3.5	Erstellen von Leitungsanlagen .....	500
9.3.5.1	Allgemeines .....	500
9.3.5.2	Außenleitungen .....	500
9.3.5.3	Innenleitungen .....	501
9.3.6	Verahren der Leitungsanlagen .....	504
9.3.7	Arbeiten an in Betrieb befindlichen Leitungen .....	504
9.3.8	Aufstellen, Umtauschen und Abnehmen von Gaszählern .....	505
9.3.9	Sicherheits- und Regeleinrichtungen .....	505
9.3.10	Entfernen von Leitungsanlagen .....	505
9.3.11	Gasströmungswächter .....	505
9.3.12	Schutz gegen Eingriffe Unbefugter .....	506
9.3.13	Auswahl von Gasströmungswächtern .....	507
9.4	Bemessung von Leitungsanlagen für Gase der 2. Gasfamilie .....	511
9.4.1	Allgemeine Festlegungen .....	511
9.4.2	Tabellenverfahren .....	512
9.4.2.1	Übersicht über die Arbeitsschritte .....	512
9.4.2.2	Ermittlung der Nennbelastung .....	512
9.4.2.3	Druckverlust durch steigende oder fallende Leitungen ..	512
9.4.2.4	Druckverlust-Tabellen .....	512
9.4.2.5	Berechnungslänge der Teilstrecke $l_R$ und Druckverlust aus Einzelwiderständen .....	513

9.4.2.6	Auswahl und Druckverlust der Rohre und Bauteile . . . . .	513
9.4.2.7	Sonderfälle . . . . .	514
9.4.2.8	Gasströmungswächter (GS) . . . . .	522
9.4.3	Diagrammverfahren . . . . .	526
9.4.3.1	Anwendung des Diagrammverfahrens für metallene Leitungen . . . . .	526
9.4.3.2	Anwendung des Diagrammverfahrens für Kunststoffleitungen . . . . .	530
9.5	Berechnung von Leitungsanlagen für Flüssiggas . . . . .	531
9.6	Anschluss von Gasgeräten und Gasflaschen . . . . .	531
9.6.1	Anschluss von Gasgeräten . . . . .	531
9.6.2	Anschluss von Gasflaschen . . . . .	531
9.7	Aufstellung von Gasgeräten . . . . .	532
9.7.1	Grundlegende Festlegungen . . . . .	532
9.7.2	Begriffe und Gasgerätebezeichnungen . . . . .	532
9.7.2.1	Begriffe . . . . .	532
9.7.2.2	Gasgerätebezeichnungen . . . . .	532
9.7.3	Bedingungen für die Aufstellung von Gasgeräten . . . . .	533
9.7.3.1	Grundsätzliches . . . . .	533
9.7.3.2	Unzulässige Räume für die Aufstellung von Gasgeräten . .	533
9.7.3.3	Bedingungen für raumluftabhängige Geräte Art B bei mechanischer Raumluftabsaugung . . . . .	534
9.7.3.4	Bedingungen für Gasgeräte Art B <sub>1</sub> und B <sub>4</sub> bei der Aufstellung in Wohnungen und vergleichbaren Nutzungseinheiten . . . . .	534
9.7.3.5	Bedingungen für nicht leitungsgebundene Flüssiggas-Geräte und Gas-Durchlaufwasserheizer . . . . .	534
9.7.3.6	Schutz der Gasgeräte und der Leitungsanlage gegen thermische Beanspruchungen (z. B. Brandeinwirkung) . .	535
9.7.3.7	Zusätzliche Bedingungen für Flüssiggas-Geräte . . . . .	535
9.7.3.8	Abstände der Gasgeräte zu Bauteilen aus brennbaren Baustoffen . . . . .	535
9.7.3.9	Bedingungen für die Aufstellung von Gasgeräten Art A, hier Gas-Haushaltskochgeräte . . . . .	535
9.7.4	Bedingungen für den Anfahrzustand von Gasgeräten Art B <sub>1</sub> und B <sub>4</sub> mit Strömungssicherung sowie mit einer Gesamtnennleistung $\sum \dot{Q}_{NL} \leq 35 \text{ kW}$ und für die Verbrennungsluftversorgung von raumluftabhängigen Gasgeräten Art B . . . . .	536
9.7.4.1	Bedingungen für den Anfahrzustand . . . . .	536
9.7.4.2	Bedingungen für die Verbrennungsluftversorgung von raumluftabhängigen Gasgeräten Art B mit einer Gesamt- nennleistung $\sum \dot{Q}_{NL} \leq 35 \text{ kW}$ . . . . .	537

9.7.4.3	Bedingungen für den Anfahrzustand der Gasgeräte mit Strömungssicherung und die Verbrennungsluftversorgung von raumluftabhängigen Gasgeräten Art B mit einer Gesamtnennleistung $\sum \dot{Q}_{NL} > 35 \text{ kW}$ .....	544
9.7.5	Zusätzliche Bedingungen für die Aufstellung von raumluftunabhängigen Gasgeräten Art C .....	546
9.7.5.1	Grundsätzliches .....	546
9.7.5.2	Bestimmungen für Gasgeräte Art C <sub>1</sub> mit horizontaler Verbrennungsluftzu- und Abgasabführung durch die Außenwand .....	547
9.7.5.3	Bestimmungen für Gasgeräte Art C <sub>3</sub> mit Verbrennungsluftzu- und Abgasabführung senkrecht über Dach .....	547
9.7.5.4	Bestimmungen für Gasgeräte Art C <sub>4</sub> mit Verbrennungsluftzu- und Abgasabführung zum Anschluss an ein Luft-Abgas-System (LAS) .....	547
9.7.5.5	Verschiedenes .....	547
9.7.6	Zusätzliche Bestimmungen bei der Aufstellung von gewerblich und industriell genutzten Gasgeräten .....	548
9.8	Abgasabführung von Gasgeräten Art B .....	548
9.8.1	Grundsätzliches .....	548
9.8.2	Abgasanlagen: Anforderungen, Planung, Ausführung und Berechnung .....	549
9.8.3	Abgasabführung über Abgasanlagen .....	550
9.8.3.1	Eigene Abgasanlagen .....	550
9.8.3.2	Gemeinsame Abgasanlage .....	551
9.8.3.3	Gemeinsame Abgasanlage für Gasgeräte Art B <sub>1</sub> und Art B <sub>2</sub> .....	551
9.8.4	Abgasabführung über Lüftungsanlagen .....	552
9.8.5	Verbindungsstücke (Abgasrohre) .....	552
9.8.5.1	Querschnitt .....	552
9.8.5.2	Ausführung .....	552
9.8.5.3	Führung .....	553
9.9	Abgasabführung aus raumluftunabhängigen Gasgeräten .....	554
9.10	Prüfung von Innen- und Außenleitungen .....	556
9.10.1	Prüfungsvoraussetzungen und Dokumentation .....	556
9.10.2	Prüfmedien .....	556
9.10.3	Temperaturausgleich .....	556
9.10.4	Prüfungsdurchführungen .....	557
9.10.4.1	Prüfung gemäß DVGW-TRGI für neu verlegte Leitungen ..	557
9.10.4.2	Prüfung gemäß DVGW-TRGI für vorhandene Innenleitungen .....	557

9.10.4.3	Prüfung gemäß DVGW-TRGI für Anschlüsse und Verbindungen mit Betriebsdrücken bis 1 bar .....	558
9.10.4.4	Prüfung gemäß TRF .....	558
9.11	Inbetriebnahme und Funktionsprüfungen von Gasanlagen .....	559
9.11.1	Einlassen des Gases .....	559
9.11.2	Einstellen und Funktionsprüfung der Gasgeräte .....	559
9.11.3	Funktionsprüfung der Abgasanlage raumluftabhängiger Gasgeräte Art B <sub>1</sub> und B <sub>4</sub> mit Strömungssicherung .....	560
9.11.4	Unterrichtung des Anlagenbetreibers .....	560
9.11.5	Unterhaltung der Gasanlagen in Gebäuden .....	560
9.12	Flüssiggaslagerung .....	561
9.12.1	Allgemeines .....	561
9.12.2	Aufstellung von Flüssiggas-Druckbehältern in Brennstofflagerräumen .....	561
9.12.3	Aufstellung von Flüssiggas-Druckbehältern im Freien .....	562
9.12.4	Aufstellung von Flüssiggasflaschen in Wohnungen .....	562
9.13	Regel- und Sicherheitsarmaturen zwischen Flüssiggas-Druckbehälter im Freien und der Gasanlage im Gebäude .....	562
<b>10</b>	<b>Marktrollen und Aufgaben in der öffentlichen Gasversorgung ...</b>	<b>565</b>
10.1	Einführung .....	565
10.1.1	Liberalisierung/Regulierung .....	565
10.1.2	Netzzugang/Marktzugang .....	566
10.2	Transport/Messung .....	568
10.2.1	Netzbetreiber/Messstellenbetreiber/Messdienstleister .....	568
10.2.2	Zusammenarbeit der Netzbetreiber (Kooperationsvereinbarung VII) .....	569
10.2.2.1	Allgemeine Bestimmungen .....	570
10.2.2.2	Marktgebiete .....	571
10.2.2.3	Interne Bestellung .....	571
10.2.2.4	Netzkopplung zwischen vor- und nachgelagerten Netzbetreibern .....	573
10.2.2.5	Gemeinsame Vermarktung von Kapazitäten .....	574
10.2.2.6	Regelenergie und Bilanzkreise .....	574
10.2.2.7	Allgemeine Schlussbestimmungen .....	576
10.2.2.8	Anlagen .....	576
10.2.3	Abwicklung von Standardlastprofilen (BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden) .....	578
10.2.3.1	Grundlagen der Lastprofilanwendung .....	578
10.2.3.2	Grundlagen und Beschreibung der Profilverfahren .....	579
10.2.3.3	Anwendungsverfahren von Lastprofilen .....	580
10.2.3.4	Qualitätsprüfung und Verbesserung .....	583

10.2.4	Marktprozesse Bilanzkreismanagement (BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden) .....	586
10.2.4.1	Darstellung verschiedener Marktrollen .....	586
10.2.4.2	Grundlagen .....	588
10.2.4.3	Vorgelagerte bilanzierungsrelevante Prozesse .....	591
10.2.4.4	Nominierung .....	591
10.2.4.5	Allokation .....	591
10.2.4.6	Ermittlung des Bilanzkreisstatus und Anreizsystem ....	592
10.2.4.7	Konvertierung und Konvertierungsumlage .....	592
10.2.4.8	Allokationsclearing .....	593
10.2.4.9	Abrechnung von Bilanzkreisverträgen .....	593
10.2.4.10	Mehr-/Minderungenabrechnung .....	594
10.2.4.11	Berechnung und Abrechnung von Netzkonten .....	595
10.2.4.12	Mini-Müt .....	596
10.2.5	Marktraumumstellung (BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden) .....	596
10.2.6	Anreizregulierung und Festlegung der Erlösobergrenze .....	597
10.2.6.1	Ermittlung der Netzkosten .....	598
10.2.6.2	Ermittlung der Erlösobergrenze .....	599
10.2.7	Netzentgelte, Entgelte für Messung und Abrechnung .....	601
10.2.7.1	Netzentgelte für Transportnetze .....	601
10.2.7.2	Netzentgelte für örtliche Verteilernetze .....	601
10.2.7.3	Entgelte für Messung, Messstellenbetrieb und Abrechnung .....	607
10.2.7.4	Verprobung, Preisnachlässe, Konzessionsabgaben, Direktleitungsbau, Biomethan, Veröffentlichung .....	608
10.2.8	Meldungen an die BNetzA .....	608
10.2.8.1	Versorgungsunterbrechungen .....	608
10.2.8.2	Monitoring .....	609
10.2.9	Netzplanung .....	610
10.2.9.1	Gesetzmäßigkeiten des Gasabsatzes .....	610
10.2.9.2	Transportkapazität und Netzauslastung .....	619
10.2.9.3	Ausbauplanung .....	626
10.2.9.4	Netzentwicklungsplan .....	631
10.2.10	Hausanschlüsse .....	632
10.2.10.1	Baukostenzuschuss .....	632
10.2.10.2	Netzanschlusskosten .....	633
10.2.10.3	Niederdruckanschlussverordnung NDAV .....	634
10.2.11	Krisenvorsorge Gas (BDEW/VKU/GEODE-Leitfaden) .....	635
10.2.12	Konzessionsverträge .....	637
10.2.13	Biomethan .....	638
10.2.13.1	Netzanschluss .....	638
10.2.13.2	Erweiterter Bilanzausgleich .....	639
10.2.14	Messstellenbetrieb/Messung .....	639

10.3	Speicherung .....	640
10.3.1	Speicherzugang .....	640
10.3.2	Vergabe von Speicherkapazitäten .....	641
10.3.3	Speicherbewirtschaftung .....	642
10.3.4	Speicherentgelte .....	642
10.4	Handel/Vertrieb .....	643
10.4.1	Lieferanten .....	643
10.4.2	Netzzugang/Marktzugang/Lieferantenwechsel .....	644
10.4.3	Kostenbestandteile .....	644
10.4.3.1	Gasbezug .....	644
10.4.3.2	Netzentgelte .....	645
10.4.3.3	Sonstige Kosten .....	645
10.4.4	Marketing .....	645
10.4.4.1	Marketingstrategie .....	645
10.4.4.2	Marktforschung .....	646
10.4.4.3	Absatzplanung .....	648
10.4.4.4	Preispolitik .....	649
10.4.4.5	Preisgestaltung/Energiepreisvergleich .....	650
10.4.4.6	Sonderverträge .....	651
10.4.5	Grundversorgung/Ersatzversorgung .....	653
10.4.5.1	Gasgrundversorgungsverordnung – GasGVV .....	653
<b>11</b>	<b>Emissionen, Immissionen; Brenn- und Abgasanalytik .....</b>	<b>657</b>
11.1	Ausstoß von Luftschadstoffen und klimawirksamen Gasen .....	657
11.1.1	Allgemeines .....	657
11.1.2	Luftschadstoffe .....	657
11.1.3	Klimawirksamkeit von Spurengasen .....	659
11.1.3.1	Klimabegriff; klimawirksame Gase .....	659
11.1.3.2	5. Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC .....	665
11.1.3.3	Politische Bemühungen zur Begrenzung des Ausstoßes klimawirksamer Gase .....	673
11.2	Emissionen, Immissionen .....	674
11.2.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) .....	674
11.2.2	Quantitative Kennzeichnung von Emissionen und Immissionen ..	681
11.2.3	Massenbilanzen .....	685
11.2.4	Emissionen .....	687
11.2.4.1	Emissionsminderung .....	688
11.2.4.2	Emissionsgrenzwerte .....	690
11.2.4.3	Abgasschornsteine .....	695
11.2.5	Immissionen .....	698
11.2.5.1	Ausbreitungsrechnung .....	700
11.2.5.2	Arbeitsplatzgrenzwerte .....	700

11.3	Messwertbeurteilung .....	701
11.4	Brenngasanalytik .....	702
11.4.1	Gaschromatographie .....	703
11.4.2	Gaskalorimeter .....	706
11.4.3	Gasdichtewaage .....	708
11.4.4	Gaswarneinrichtungen .....	709
11.4.5	Prüfröhrchen .....	709
11.5	Messen von Emissionen und Immissionen .....	710
11.5.1	Lichtabsorptionsverfahren .....	712
11.5.2	Sauerstoffbestimmung .....	714
11.5.3	Chemolumineszenz .....	714
11.5.4	Nasschemische Verfahren .....	716
11.5.5	Elektrochemische Zellen .....	716
11.6	Kondensate .....	717
11.6.1	Kondensatanfall und Kondensat-inhaltsstoffe .....	717
11.6.2	Neutralisationsanlage .....	720
<b>12</b>	<b>Sicherheit im Gasfach .....</b>	<b>725</b>
12.1	Einführung in das Thema .....	725
12.2	Allgemeine Erläuterung des Sicherheitsbegriffes .....	727
12.2.1	Definition Schaden .....	727
12.2.2	Definition Risiko .....	728
12.2.3	Definition Sicherheit .....	729
12.3	Psychologische Aspekte der Sicherheit .....	730
12.4	Rechtliche Grundlagen .....	732
12.4.1	Sicherheitsanforderungen in Gesetzen, Verordnungen und Technischen Regeln .....	732
12.4.2	Gesetze und Verordnungen .....	733
12.4.2.1	Rechtliche Bedeutung von Gesetzen und Verordnungen ..	733
12.4.2.2	Sicherheitsrelevante Gesetze für den Bereich der Gasversorgung .....	733
12.4.2.3	Sicherheitsrelevante Verordnungen für den Bereich der Gasversorgung .....	735
12.4.3	Technische Regeln .....	735
12.4.3.1	Rechtliche Bedeutung von Technischen Regeln .....	735
12.4.3.2	DVGW-Regelwerk Gas .....	736
12.4.3.3	Normenwerk des DIN Deutsches Institut für Normung (DIN-Normen) .....	739
12.4.3.4	Normenwerk des Europäischen Komitees für Normung CEN (Erstellung der Europäischen Normen - EN) .....	740
12.4.4	Unternehmensinterne Festlegungen .....	740

12.5	Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit .....	740
12.5.1	Maßnahmenselektion durch Schadensanalyse .....	741
12.5.2	Technische Maßnahmen .....	742
12.5.3	Qualifizierungsmaßnahmen .....	743
12.5.4	Organisatorische Maßnahmen .....	743
12.5.5	Die Schaden- und Unfallstatistik Gas des DVGW .....	745
12.6	Arbeitssicherheit .....	746
12.6.1	Begriffsbestimmungen .....	747
12.6.2	Rechtliche Grundlagen .....	747
12.6.3	Innerbetriebliche Zuständigkeiten für die Arbeitssicherheit .....	748
12.6.4	Maßnahmen der Arbeitssicherheit .....	750
12.6.4.1	Technische Maßnahmen .....	750
12.6.4.2	Qualifizierungsmaßnahmen .....	751
12.6.4.3	Organisatorische Maßnahmen .....	751
<b>13</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>753</b>
13.1	Lösungsergebnisse der Aufgaben .....	753
13.2	Formelzeichen .....	757
13.3	Abkürzungen .....	763
13.4	Wiederholung häufig gebrauchter Tafeln .....	769
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>779</b>

**Tafel 8.10b** Zulässige Norm-Emissionsfaktoren<sup>1</sup> von nicht genehmigungsbedürftigen Öl- und Gasfeuerungsanlagen nach 1. BImSchV

Nennwärmeleistung $\dot{Q}_{NL}$ in kW	Norm-Emissionsfaktoren für gasbefeuerte Anlagen in mg/kWh	Norm-Emissionsfaktoren für Heizöl EL befeuerte Anlagen in mg/kWh
Bis 120	60	110
> 120 ... 400	80	120
> 400	120	185

<sup>1</sup> Für Heizkessel, die in einem Mitgliedstaat der Europäischen Gemeinschaften oder in einem Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum hergestellt worden sind, kann der Stickstoffoxidgehalt auch nach einem anderen im Sinne der Verordnung als gleichwertig anerkannten Verfahren ermittelt werden.

Für gas- und ölbefeuerte Feuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung von 10 MW bis 20 MW gelten hinsichtlich der Kohlenmonoxid- und Stickstoffoxidemissionen sowie des Rußgehaltes (letzteres nur bei Einsatz flüssiger Brennstoffe) gesonderte Anforderungen. Anlagen dieser Leistungskategorie unterliegen hinsichtlich der genannten Schadstoffe der Überwachungspflicht, d. h. sie sind frühestens 3 und spätestens 6 Monate nach Inbetriebnahme und anschließend im Abstand von 3 Jahren wiederkehrend durch eine nach § 26 BImSchG bekannt gegebene Stelle prüfen zu lassen, die Ergebnisse sind der zuständigen Behörde innerhalb von 3 Monaten nach Durchführung der Messung vorzulegen.

## 8.2.4 Ökodesign Richtlinie

Unter dem Namen „Richtlinie 2009/125/EG des europäischen Parlaments und Rates zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte“ wurde am 21. Oktober 2009 die sogenannte Ökodesign Richtlinie – auch ErP-Richtlinie genannt – im europäischen Parlament beschlossen. Ihr Ziel ist es, die Umweltverträglichkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte (ErP) durch umweltgerechte Gestaltung zu verbessern und damit die Treibhausgasemissionen in der europäischen Gemeinschaft entscheidend zu reduzieren. Der Ansatzpunkt dabei ist, dass die Ökodesign Richtlinie integraler Bestandteil der CE-Kennzeichnung ist. Auf diese Weise wird die Einhaltung der Anforderungen beim Inverkehrbringen und Handel innerhalb des europäischen Binnenmarktes sichergestellt. Die nationale Umsetzung in Deutschland erfolgt durch das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) vom 31. 8. 2015.

Da es sich bei der Ökodesign-Richtlinie um eine Rahmenrichtlinie handelt, gibt sie keine direkten Produkthanforderungen vor. Viel mehr werden sogenannte Durchführungsmaßnahmen für jeweils einzelne Produkthanforderungen festgelegt, die von der EU-Kommission und von einem ihrer unterstützenden Regelausschüsse formuliert werden.

Konkrete Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten legt die Richtlinie 813/2013/EU vom 02. August 2013 fest.

Entsprechende Anforderungen für die Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern enthält die Richtlinie 814/2013/EU vom 02. August 2013. Die erreichten Effizienzwerte sind gemäß EU-Richtlinie für die Kennzeichnung energieverbrauchsrelevanter Produkte (2010/30/EU ergänzt durch 811/2013/EU (Heiz- und Kombigeräte) und 812/2013/EU (Warmwasserbereiter) in Form eines am Gerät angebrachten Energieeffizienzlabels auszuweisen (s. Kap. 8.2.1).

### 8.2.5 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Zum 1. Januar 2009 wurde das „Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich“ (EEWärmeG, aktuelle Fassung vom 20. 10. 2015) eingeführt. Es richtet sich an Eigentümer von Gebäuden, die neu errichtet werden und verpflichtet diese, den Wärmebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Der Geltungsbereich umfasst ebenfalls Gebäude, die sich in öffentlicher Hand befinden und grundlegend saniert werden. Die Anwendungspflicht des EEWärmeG betrifft dabei alle Gebäude mit einer Nutzfläche von mehr als 50 m<sup>2</sup>, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden (Ausnahmen siehe § 4 EEWärmeG).

**Tafel 8.11** Mindestanteil der Erneuerbaren Energien nach EEWärmeG

Maßnahme	Mindestanteil in %
Solare Strahlungsenergie	15
Gasförmige Biomasse	30
Flüssige Biomasse	50
Feste Biomasse	50
Abwärme	50
Geothermie und Umweltwärme	50
Ersatzmaßnahmen	
Einsparung von Energie	-15% gegenüber EnEV-Standard
Nah- oder Fernwärme mit Anteil a) erneuerbarer Energien, b) KWK, c) Abwärme	Kombination aus a) bis c) > 50%



#### Beispiel 8.1:

Für einen 2005 installierten gasbefeuerten Niedertemperaturkessel ohne Gebläse mit 15 kW Nennwärmeleistung werden 20 °C als Verbrennungslufttemperatur sowie an der Schornsteinfegermesssstelle im Kernstrom des Abgases 120 °C als Abgastemperatur und 6,5 Vol.-% als Abgas-Sauerstoffanteil gemessen ( $t_a$  und  $O_2^3$  als quasikontinuierlich, über einen Zeitraum von 30 Sekunden am selben Probenahmepunkt bestimmte Mittelwerte).

Wie groß ist der maßgebende Abgasverlust  $q_a$ ? Wird der Grenzwert überschritten?

**Lösung:**

$$q_a \approx \left( \frac{A_2}{21 - O_2^a} + B \right) (t_a - t_l) \quad \text{in \% mit } O_2^a \text{ in Vol.-%} \quad (\text{Gl 3.5.10b})$$

Abgasverlust für Erdgasbetrieb (Gl 3.5.10b Tafel 3.4):

$$q_a \approx \left( \frac{0,66}{21 - 6,5} + 0,009 \right) (120 - 20) = 5,5\%$$

Aus Tafel 8.10a entnimmt man den Grenzwert  $q_{a,zul} = 11\%$ , d. h. der zulässige Abgasverlust wird *nicht überschritten*.

**Beispiel 8.2:**

Ein Erdgas H (Tafel 2.1) gefeuerter Brennwertkessel (modulierender Brenner mit Gebläse) mit CE-Kennzeichnung hat bei einer Vorlauftemperatur von 80°C und einer Rücklauftemperatur gemäß DIN EN 15502-1 von 60°C die Nennwärmebelastung 17,9 kW (bez.  $H_1$ ) und die Nennwärmeleistung 17,2 kW. Die Wärmebelastung bei Teillastbetrieb (30%) betrage bei einer Vorlauftemperatur von 50°C und einer Rücklauftemperatur gemäß DIN EN 15502-1 von 30°C 5,4 kW, die Wärmeleistung 5,75 kW. Der Heizkessel verfügt über einen Außentemperaturfühler kombiniert mit einem Raumtemperaturfühler (Temperaturregler der Klasse VI nach (EU) 811/2013 und DIN EN 15502-1/A1).

Erfüllt dieser Heizkessel die EU-Richtlinie für Energieeffizienz (EU) 813/2013 für Heiz- und Kombigeräte?

**Lösung:** Die der (EU) 813/2013 zugrunde liegende EN 15502-1/A1 zur Berechnung der brennwertbezogenen jahreszeitbedingten Raumheizungs-Energieeffizienz liefert folgende Berechnungsgleichung:

$$\eta_s = \eta_{son} - \sum F(i) \quad (\text{Gl 8.2.4})$$

Im Korrekturterm  $F(i)$  sind die Verluste durch fehlende Temperaturregelung, Hilfsstromverbrauch, Wärmeverluste im Bereitschaftszustand (Standby) sowie ggf. der Energieverbrauch einer Zündflamme berücksichtigt. Die Summe der Korrekturterme soll in diesem Beispiel 4% betragen.

Die jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz im aktiven Modus errechnet sich aus

$$\eta_{son} = 0,85 \cdot \eta_1 + 0,15 \cdot \eta_4 \quad (\text{Gl 8.2.5})$$

$\eta_1, \eta_4$  sind die brennwertbezogenen Wirkungsgrade bei einer Wärmeleistung von 30%, bzw. bei Nennwärmeleistung (100%)

Mit Gl 3.5.15 erhält man bei Nennwärmeleistung

$$\eta_G = \eta_{100} = \frac{\dot{Q}_{NL}}{\dot{Q}_{NB}} = \frac{17,2 \text{ kW}}{17,9 \text{ kW}} = 0,961 = 96,1\%$$

$$\eta_4 = \eta_{100} \cdot \frac{H_{i,n}}{H_{s,n}} = 96,1\% \cdot \frac{10,337 \text{ kWh} / \text{m}^3}{11,449 \text{ kWh} / \text{m}^3} = 86,76\% \quad (\text{Gl 8.2.6})$$

Bei Teillastbetrieb (30%) erhält man mit Gl 3.5.15

$$\eta_{30} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_B} = \frac{5,75 \text{ kW}}{5,4 \text{ kW}} = 1,065 = 106,5\%$$

$$\eta_1 = \eta_{30} \cdot \frac{H_{i,n}}{H_{s,n}} = 106,5\% \cdot \frac{10,337 \text{ kWh} / \text{m}^3}{11,449 \text{ kWh} / \text{m}^3} = 96,16\%$$

Mit Gl 8.2.5 errechnet sich die brennwertbezogene jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz im aktiven Modus wie folgt

$$\eta_{\text{son}} = 0,85 \cdot \eta_1 + 0,15 \cdot \eta_4 = 0,85 \cdot 96,16\% + 0,15 \cdot 86,76\% = 94,75\%$$

Damit erhält man für die brennwertbezogene jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz nach Gl 8.2.4:

$$\eta_S = \eta_{\text{son}} - \sum F(i) = 94,75\% - 4\% = 90,75\%$$

Nach (EU) 811/2013 wird für Temperaturregler der Klasse VI ein Wirkungsgradbonus von 4% gewährt, so dass sich für die brennwertbezogene jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz ein Wert von  $\eta_S = (90,75 + 4)\% = 94,75\%$  ergibt. Der Mindestwert von 86% (siehe Tafel 8.3a) wird erfüllt und die Effizienzklasse A nach Tafel 8.3b erreicht. Durch Kombination dieses Gasgerätes z.B. mit einer solarthermischen Anlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ließe sich die Gesamtanlageneffizienz um ca. 10 bis 15% erhöhen. Damit könnte die Effizienzklasse auf A+ angehoben werden.



### Beispiel 8.3:

Der Brennwertkessel aus Beispiel 8.2 hat bei 70 °C Kesseltemperatur die Nennwärmebelastung  $\dot{Q}_{NB} = 17,9 \text{ kW}$  die Nennwärmeleistung  $\dot{Q}_{NL} = 17,2 \text{ kW}$  und den Bereitschaftsverluststrom  $\dot{Q}_V = 0,15 \text{ kW}$ .

Für den effektiven Gerätewirkungsgrad bei Teillastbetrieb und gleitender Kesseltemperatur sei in diesem Fall

$$\eta_G^{\text{eff}} = \left( 1,1 - \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{NL}} \cdot [1,1 - \eta_{100}] \right) \frac{1 + q_B \cdot \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{NL}}}{1 + q_B} \quad (\text{Gl 8.2.7})$$

$$\text{mit } q_B = \frac{\dot{Q}_V}{\dot{Q}_{NB}} = \frac{0,15 \text{ kW}}{17,9 \text{ kW}} = 0,0084 = 0,84\% \quad (\text{Gl 8.2.8})$$

Der effektive Gerätewirkungsgrad bei Teillastbetrieb und gleitender Kesseltemperatur wird durch Gl 8.2.7 beschrieben. Nach DIN 4702 T 8 berechnet sich der Normnutzungsgrad

$$\eta_N = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{G(i)}^{\text{eff}}}} \quad (\text{Gl 8.2.9})$$

aus den Teillastwirkungsgraden bei  $i = 13\%$ ,  $30\%$ ,  $39\%$ ,  $48\%$  und  $63\%$  Nennlast (Volllast). Wie groß ist der Normnutzungsgrad des Brennwertkessels?

**Lösung:** Beispielhaft wird zunächst der Teillastwirkungsgrad für den Teillastbetrieb bei 13% Volllast ermittelt. Man erhält mit

$$\eta = \eta_G(100\%) = \frac{\dot{Q}_{\text{NL}}}{\dot{Q}_{\text{NB}}} = \frac{17,2\text{kW}}{17,9\text{kW}} = 0,961 = 96,1\%$$

und mit (Gl 8.2.5)

$$q_B = \frac{\dot{Q}_V}{\dot{Q}_{\text{NB}}} = \frac{0,15\text{kW}}{17,9\text{kW}} = 0,0084 = 0,84\%$$

bei Volllastbetrieb; der Unterschied zwischen  $70^\circ\text{C}$  und  $75^\circ\text{C}$  Kesseltemperatur (gemäß DIN 4702 T 8) wird vernachlässigt:

$$\begin{aligned} \eta_G^{\text{eff}} &= \left( 1,1 - \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{\text{NL}}} \cdot [1,1 - \eta_{100}] \right) \frac{1 + q_B \cdot \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_{\text{NL}}}}{1 + q_B} \\ &= \left( 1,1 - \frac{2,236\text{kW}}{17,2\text{kW}} [1,1 - 0,961] \right) \frac{1 + 0,0084 \cdot \frac{2,236\text{kW}}{17,2\text{kW}}}{1 + 0,0084} \\ &= 1,074 = 107,4\% \end{aligned}$$

Ergebnis für alle fünf Teillastwirkungsgrade:

$\dot{Q}_L / \dot{Q}_{\text{NL}}$	0,13	0,30	0,39	0,48	0,63
$\eta_G^{\text{eff}}$	1,074	1,052	1,045	1,029	1,009

Die vorgeschriebene Mittelwertbildung nach Gl 8.2.9 liefert für den Normnutzungsgrad:

$$\eta_N = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{G(i)}^{\text{eff}}}} = \frac{5}{\frac{1}{1,074} + \frac{1}{1,052} + \frac{1}{1,045} + \frac{1}{1,029} + \frac{1}{1,009}} = 1,041$$

Der brennwertbezogene Normnutzungsgrad beträgt

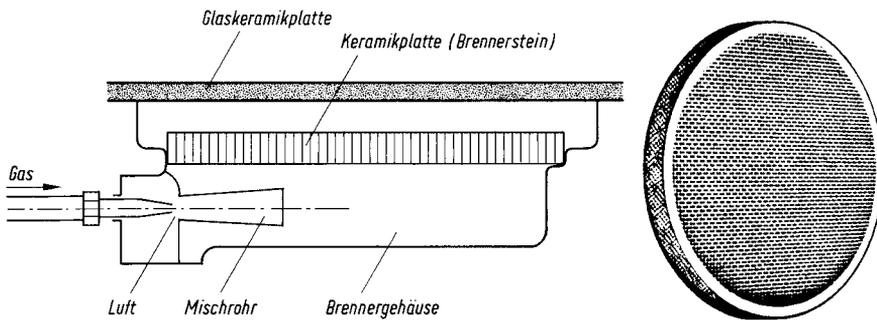
$$\eta_N^* = \eta_N \cdot \frac{H_{i,n}}{H_{s,n}} = 1,041 \cdot \frac{10,337\text{kW h} / \text{m}^3}{11,449\text{kW h} / \text{m}^3} = 0,94 = 94\%$$

Dieser Wert liegt somit in einem ähnlichen Bereich wie der Wert für die brennwertbezogene jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz nach Beispiel 8.2.

## ■ 8.3 Funktion und Anwendungsgebiete der Gasgeräte

### 8.3.1 Koch-, Wasch-, Trocknungs- und Kühleinrichtungen

**Herde** werden üblicherweise mit drei oder vier Kochbrennern angeboten. Normalerweise sind Kochbrenner (Bild 7.8) in Deutschland mit einer Flammenüberwachungseinrichtung – in der Regel ist dies eine thermoelektrische Zündsicherung – ausgerüstet (Bild 7.27a). Kochbrenner ohne Flammenüberwachungseinrichtung dürfen nach DVGW-TRGI nur in Räumen aufgestellt werden, die während des Betriebes durch einen Ventilator mit einem Außenluftstrom von  $\geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$  belüftet werden. Vorteile bietet der Gasherd vor allem durch sein günstiges Betriebsverhalten – gute Kleinstell- und Regulierungsmöglichkeit – und durch niedrige Betriebskosten und geringen Primärenergieverbrauch. Seit einigen Jahren gibt es auch die gasbeheizten Glaskeramik(Ceran)-Kochfelder (Bild 8.4). Unter der Glaskeramikplatte befindet sich ein Injektorvormisch-Strahlungsbrenner, dessen Brennerkopf aus gasdurchlässiger Keramik besteht. Hauptsächlich unter Abgabe von Strahlungswärme verbrennt das vorgemischte Gas bei dieser Bauart mit niedriger Flammentemperatur. Herde, im Haushaltsbereich generell ohne Abgasanschluss, gehören zum Gerätetyp A (Tafel 8.4).



**Bild 8.4** Injektorvormisch-Strahlungsbrenner für Glaskeramik-Kochfeld (Junkers, Robert Bosch GmbH, Wernau)

**Waschmaschinen** und **Wäschetrockner** mit Gasheizung sind überwiegend für gewerbliche Zwecke und in Gemeinschaftsanlagen im Einsatz. Im Haushaltsbereich finden sie zurzeit noch wenig Verwendung. Im Zuge der europäischen Harmonisierung kann jedoch ein steigendes Marktpotenzial für eine zunehmende Verbreitung gasbeheizter Wäschetrockner auch im Haushaltsbereich erwartet werden.

**Kühlschränke** als gasbetriebene Absorptionssysteme werden in Deutschland praktisch nur für den mobilen Flüssiggaseinsatz angeboten. Sie funktionieren wie Absorptionsgaswärmepumpen (Bild 8.22), besitzen jedoch anstelle einer mechanischen Lösungspumpe eine thermische Pumpe, sodass ein elektrischer Stromanschluss entfällt.

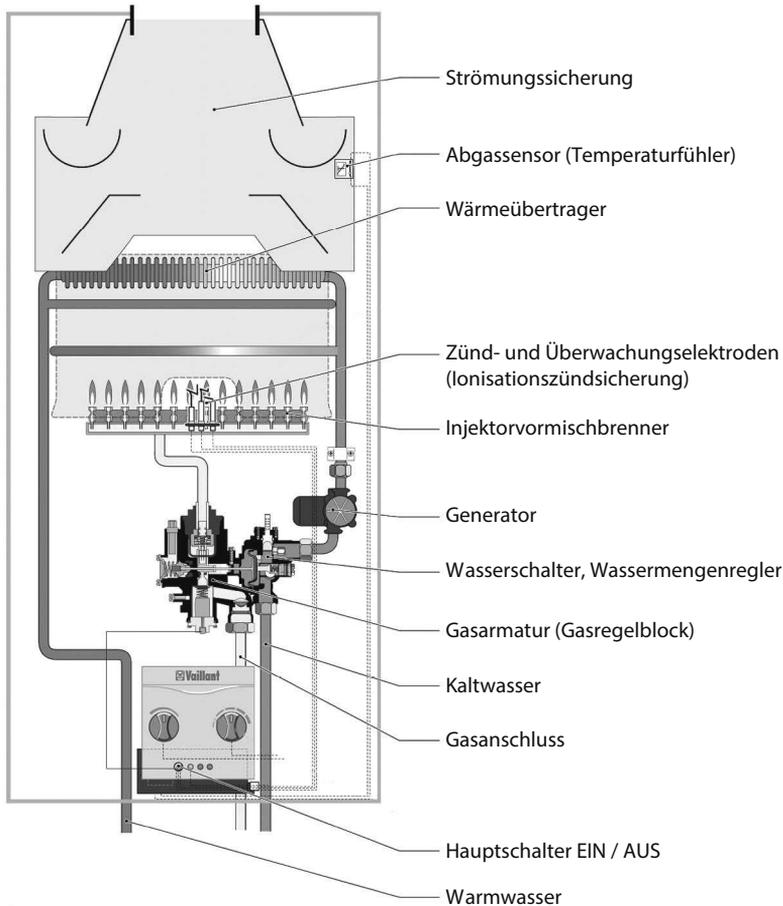
## 8.3.2 Gaswasserheizer und Vorratswasserheizer

### 8.3.2.1 Gaswasserheizer

Gaswasserheizer sind Wandgeräte, die ursprünglich für die Warmwasserbereitung nach dem Durchlaufprinzip (Durchlaufwasserheizer) eingesetzt wurden. Aus ihnen wurden in den 60er Jahren Warmwasserheizkessel, die so genannten Umlaufwasserheizer entwickelt. Geräte, die sowohl heizen als auch Warmwasser bereiten, werden Kombiwasserheizer genannt.

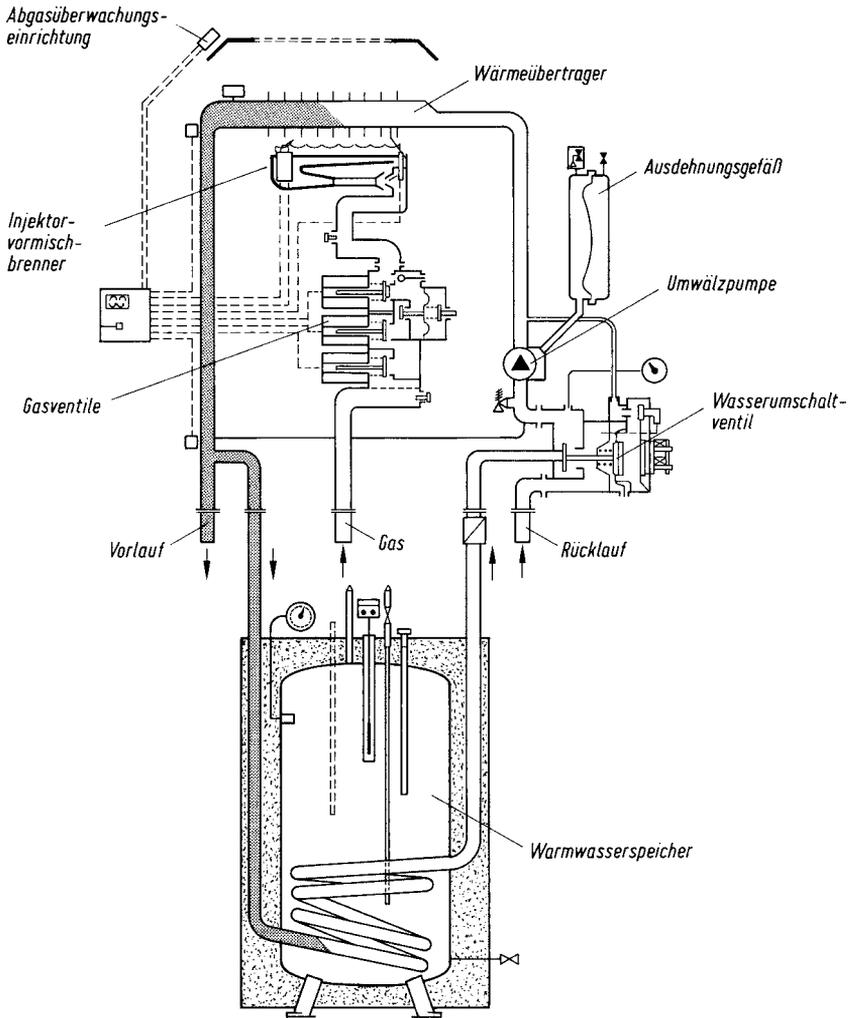
**Durchlaufwasserheizer** (Bild 8.5) werden für Nennwärmeleistungen von 8,6 kW bis 28 kW angeboten. Ein Großteil des Gerätebestandes ist noch mit ständig brennenden Zündflammen ausgerüstet. Nach Zünden der Zündflamme mit dem Piezozünder ist das Gerät ohne elektrische Hilfsenergie betriebsbereit. Die Flamme wird thermoelektrisch überwacht. Moderne Geräte sind mit batteriebetriebener elektronischer Zündung ohne ständig brennende Zündflamme ausgestattet oder besitzen statt einer Batterie einen Mikrogenerator, der durch eine im Kaltwasserzulauf befindliche Turbine angetrieben wird. Die Überwachung erfolgt hierbei mittels Ionisationszündsicherung. Fließendes Wasser betätigt hydraulisch den Strömungsschalter, der das Hauptgasventil öffnet. Der Injektorvormischbrenner mischt Brenngas und Primärluft. Am Brennerkopf wird dieses Gemisch mit der Zündflamme oder der elektronischen Zündung gezündet und verbrennt vollständig mit zusätzlicher Sekundärluft. Über einen Kreuzstromwärmeübertrager (Lamellenblock) erwärmt das Verbrennungsgas das Warmwasser. Handelsübliche Geräte verfügen heute über eine thermostatische Auslauftemperaturregelung, die unabhängig vom Wassermengenstrom eine konstante Warmwassertemperatur einstellt.

**Wandhängende Heizkessel (Umlaufwasserheizer)** funktionieren nach demselben Prinzip. Hauptunterschiede sind die Umwälzpumpe, das Ausdehnungsgefäß für das Heizungswasser, die elektrische Zündelektrode anstelle der Zündflamme und die Ionisations-Flammenüberwachung. In der Regel werden diese Geräte modulierend betrieben, d. h. der Brenngasstrom wird im verfügbaren Regelbereich (10 % bis 100 % Nennwärmeleistung) an die geforderte Wärmeleistung angepasst. Damit stehen Einzelgeräte in einem Leistungsspektrum von 2 kW bis 120 kW zur Verfügung. Bei gleitender Kesseltemperatur, die über die Außentemperatur geführt wird, handelt es sich – je nach Ausführung – um einen Niedertemperatur- oder Brennwert-Heizkessel.



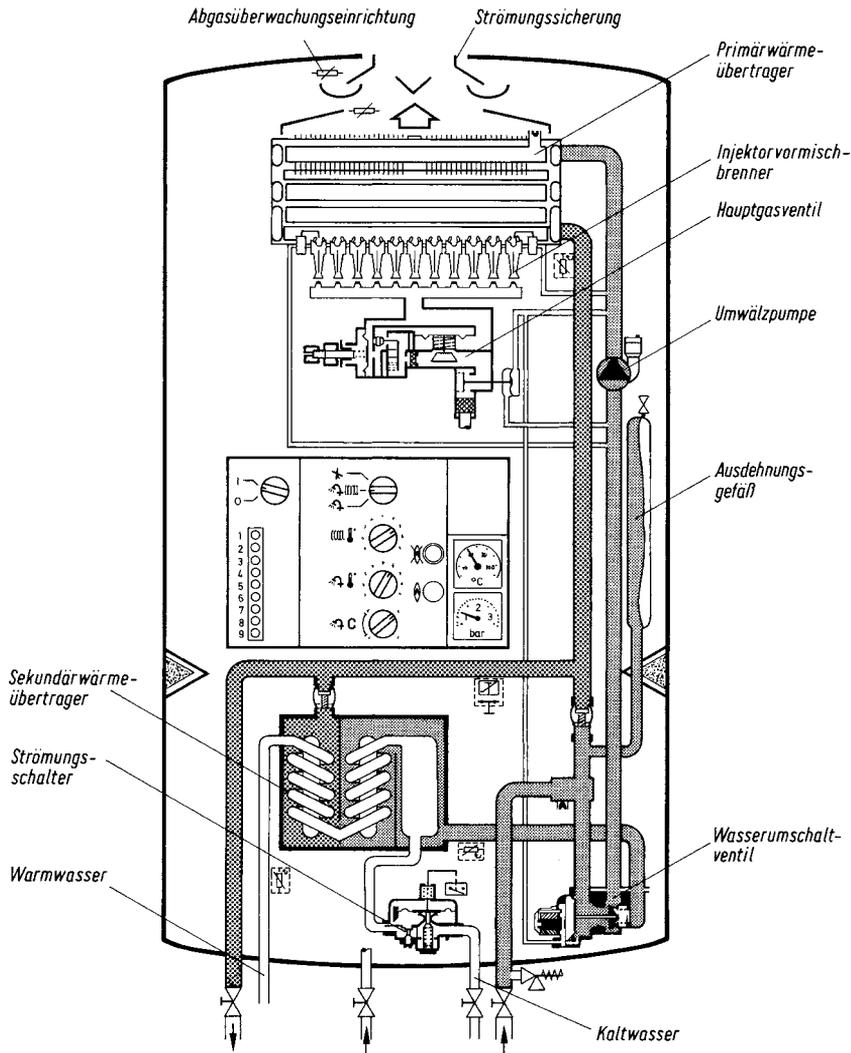
**Bild 8.5** Schema eines raumluftabhängigen Durchlaufwasserheizers mit Strömungssicherung (Gerätetyp BS<sub>1BS</sub>) (Vaillant, Joh., GmbH u. Co., Remscheid)

Um Warmwasser nach dem Speicherprinzip zu erwärmen, lässt sich der Umlaufwasserheizer mit einem indirekt beheizten Warmwasserspeicher koppeln (Bild 8.6). Bei Unterschreiten der eingestellten Warmwassertemperatur<sup>9</sup> wird über eine Vorrangschaltung das Heizungswasser durch den im Speicher befindlichen Wärmeübertrager gepumpt. Diese Lösung bietet sich alternativ zum Kombiwasserheizer an, da im Zuge der fortschreitenden Wärmedämmvorschriften für Wohngebäude (Energieeinsparverordnung) die unterschiedlichen Leistungen zum Heizen und zur Warmwassererzeugung im Durchlaufprinzip nahezu unüberbrückbar geworden sind (Hygieneanforderungen s. Kap. 8.3.2.2).



**Bild 8.6** Schema eines raumluftabhängigen Umlaufwasserheizers (Gerätetyp B<sub>11BS</sub>) mit indirekt beheiztem Warmwasserspeicher (Junkers, Robert Bosch GmbH, Wernau)

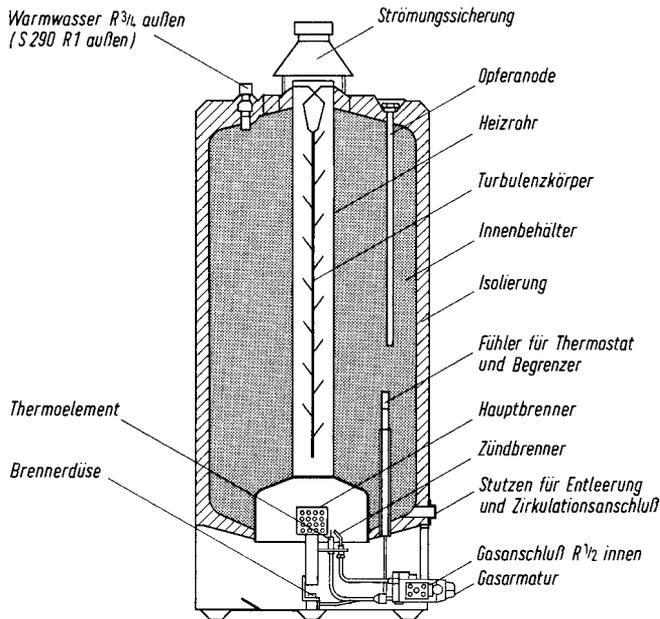
**Kombiwasserheizer** verfügen über einen Sekundärwärmeübertrager für die Warmwassererwärmung im Durchlaufprinzip. Dieser kann entweder parallel zum Heizwasserwärmeübertrager im Verbrennungsgasstrom liegen oder indirekt durch das Heizungswasser beheizt werden (Bild 8.7). Wegen der unterschiedlichen Wärmeleistungsanforderungen für die Warmwasserbereitung und das Heizen muss in der Regel eine Komforteinbuße – geringer Warmwasserdurchfluss – für die Warmwasserbereitung hingenommen werden. Die maximale Nennwärmeleistung des Gerätes sollte deswegen nicht kleiner als 17 kW sein. Vorteilhaft sind die geringen Bereitschaftsverluste.



**Bild 8.7** Schema eines raumluftabhängigen Kombiwasserheizers (Gerätetyp B<sub>11BS</sub>)  
(Vaillant, Joh., GmbH u. Co., Remscheid)

### 8.3.2.2 Vorratswasserheizer

Vorratswasserheizer sind direkt beheizte Warmwasserspeicher (Bild 8.8). Wie der Durchlaufwasserheizer benötigt dieses Gerät keinen Stromanschluss, da die Zündung des Injektorvormischbrenners abhängig von der Warmwassertemperatur durch eine Zündflamme erfolgt. Die Zündflamme wird durch einen Piezozünder gezündet.



**Bild 8.8** Vorratswasserheizer mit atmosphärischem Brenner (Gerätetyp B<sub>11BS</sub>) (Junkers, Robert Bosch GmbH, Wernau)

Gesundheitsschädliche *Legionellen* bilden sich in Warmwasser-Bereitungsanlagen bevorzugt im Temperaturbereich zwischen 32...42 °C. Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums regelt das Arbeitsblatt DVGW-W 551 (04.2004).

### 8.3.2.3 Geräteausführungen

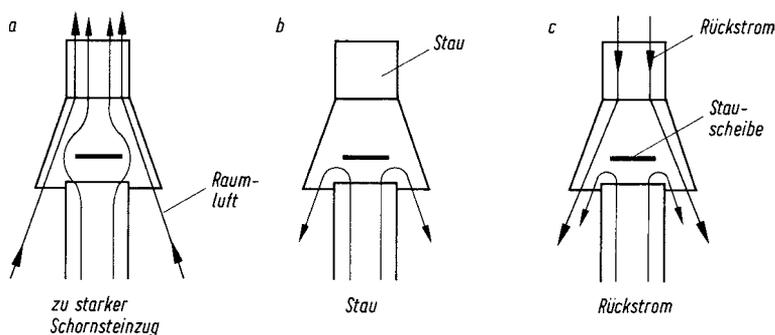
Nach DVGW-TRGI 2008 müssen bei metallenen Gasinnenleitungen die Geräteanschlussleitungen unmittelbar vor Gasgeräten in Räumen mit einer thermisch auslösenden Absperrinrichtung (TAE) versehen sein, die ab 100 °C selbsttätig die Gaszufuhr sperrt.<sup>10</sup> Dies gilt nicht, wenn die Gasgeräte bereits entsprechend ausgerüstet sind.

Bei nichtmetallenen Gasinnenleitungen ist die Brandsicherheit bereits durch die geforderten absperrenden Vorrichtungen in der zuführenden Leitung erfüllt (s. Kap. 9).

**Raumluftabhängige Geräte** mit Injektorvormischbrenner ohne Hilfsgebläse (atmosphärische Brenner), die die Verbrennungsluft direkt dem Aufstellraum entnehmen, müssen mit einer abgasseitigen Öffnung zum Aufstellraum, der Strömungssicherung, ausgerüstet sein. Die Strömungssicherung hat die Aufgabe, den Unterdruck im Betrieb zu begrenzen und ein sicheres Anfahren bis zur Ausbildung des thermischen Unterdruckes zu gewährleisten (Bild 8.9). Während der Anfahrphase liegt in der ausgekühlten Abgasanlage noch kein thermischer Auftrieb vor, sodass das Abgas kurzzeitig in den Aufstellraum austreten kann. Bei stationärem Betrieb begrenzt die Strömungssicherung den Zug der Abgasanlage, da neben dem Abgas auch Luft aus dem

Aufstellraum angesaugt wird. In Verbindung mit einer Abgasüberwachungseinrichtung (Zusatzkennung „BS“ oder „AS“), die in Wohnungen und vergleichbaren Nutzungseinheiten nach TRGI vorgeschrieben ist,<sup>11</sup> wird der Anfahrvorgang bei bleibendem Stau in der Abgasanlage automatisch abgebrochen. Die in der bisher gültigen TRGI 86/96 aufgeführte Untergrenze der Nennwärmeleistung (7 kW) wird künftig in der TRGI 2008 entfallen.

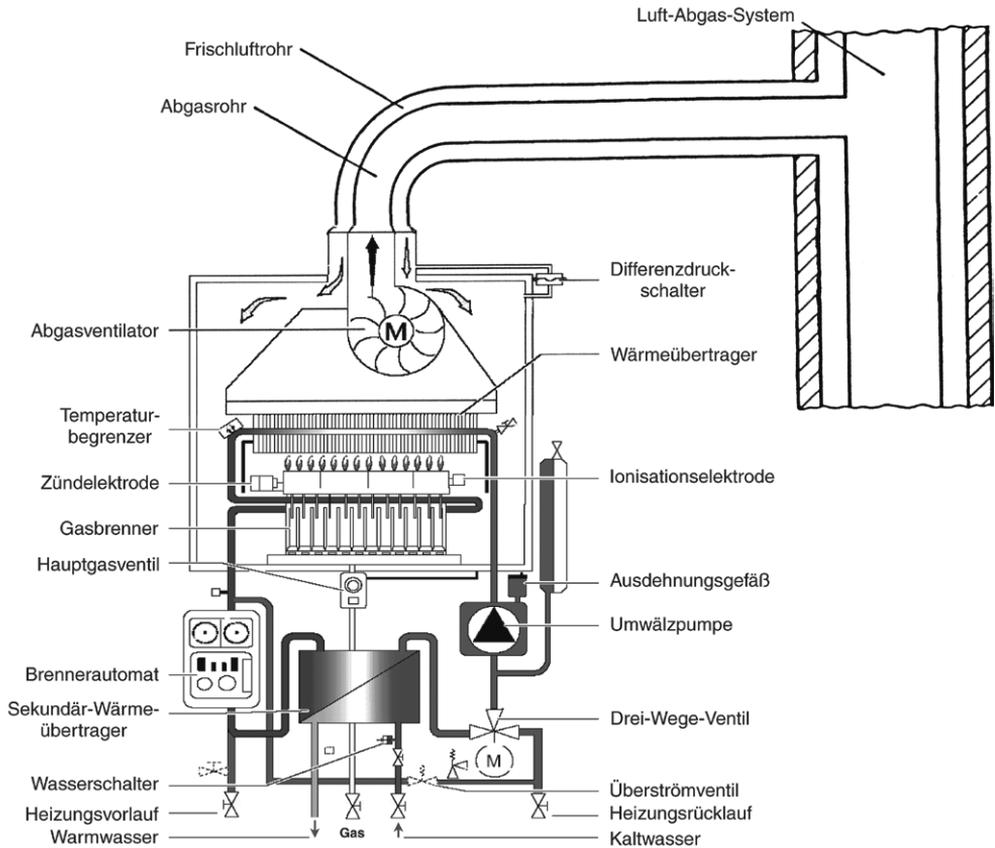
Nach TRGI 2008 kann anstelle der Abgasüberwachung auch eine Raumlufüberwachung<sup>12</sup> (Zusatzkennung „AS“) vorgesehen werden.



**Bild 8.9** Wirkung der Strömungssicherung (Eberhard/Hüning 2001)

Die meisten schornsteingebundenen Gaswasserheizer in Deutschland arbeiten nach diesem Prinzip. Nach Tafel 8.4 gehören sie mit Abgasüberwachungseinrichtung zum Gerätetyp B<sub>11BS</sub> bzw. mit Raumlufüberwachungseinrichtung zum Gerätetyp B<sub>11AS</sub>.

**Raumlufunabhängige Geräte** (Gerätetyp C) treten zunehmend an die Stelle von raumlufabhängigen, da die Dichtigkeit der Außenfenster von Wohngebäuden größer geworden ist. Durchlaufwasserheizer als *Außenwandgeräte* werden schon seit längerer Zeit mit einer geschlossenen Verbrennungskammer ohne Hilfsgebläse für den raumlufunabhängigen Betrieb (Gerätetyp C<sub>11</sub>) bis 25 kW Nennwärmeleistung hergestellt. Es werden auch Umlauf- und Kombiwasserheizer mit Hilfsgebläse als raumlufunabhängige Geräte für den *Außenwandanschluss* (Gerätetyp C<sub>12</sub> bzw. C<sub>13</sub>), für den *Dachanschluss* (Gerätetyp C<sub>32</sub> bzw. C<sub>33</sub>) oder für ein *Luft-Abgas-System* (Gerätetyp C<sub>42</sub> bzw. C<sub>43</sub>) angeboten. Der Außenwandanschluss ist in vielen Bundesländern (Bauordnung) für Heizgeräte als Neuanlagen nicht mehr zulässig. Bei all diesen Geräten entfällt die Strömungssicherung. Über ein Doppelrohr strömt im Außenrohr die Verbrennungsluft und im Innenrohr das Abgas. Das Hilfsgebläse steuert den Luft- und Abgastransport. Der Injektorvormischbrenner kann unverändert sein, wie am Beispiel eines Kombiwasserheizers im Bild 8.10 dargestellt ist. Der abgasseitige Anschluss an einen herkömmlichen Hauschornstein ist nicht zulässig. Allerdings können Geräte mit Hilfsgebläse leicht durch Öffnen der Luftleitung hin zum Aufstellraum für den raumlufabhängigen Betrieb umkonstruiert werden (Gerätetyp B<sub>32</sub> bzw. B<sub>33</sub>); für diese Geräte ist sogar die Mehrfachbelegung am herkömmlichen Schornstein zulässig (Tafel 8.4).



**Bild 8.10** Raumluftunabhängiger Kombiwasserheizer mit geschlossener Verbrennungskammer für Luft-Abgas-System (Gerätetyp C<sub>42x</sub>) (Buderus Heiztechnik GmbH, Wetzlar)

### 8.3.3 Gasheizkessel

Gasheizkessel sind Wärmeerzeuger für Warmwasserzentralheizungen, die meistens raumluftabhängig aufgestellt werden. Heizkessel mit den integrierten Bauteilen Gasbrenner, der in der Regel als Injektorvormischbrenner (atmosphärischer Brenner) ausgeführt ist, Umwälzpumpe und Ausdehnungsgefäß nennt man *Gas-Spezialheizkessel*. Prinzipiell gleichen sie den Umlaufwasserheizern, allerdings speichern die Wärmeübertrager mehr Umlaufwasser (Bild 8.11). Als Niedertemperaturkessel (gleitende Kesseltemperatur) werden sie mit Nennwärmeleistungen von etwa 5,7 kW bis 165 kW angeboten. Bei einstufiger Ausführung können bei Teillast infolge des intermittierenden Betriebes erhebliche Stillstandsverluste auftreten. Betroffen sind insbesondere atmosphärische Brenner, die keine stöchiometrische Vormischung erreichen, denn sie besitzen ausgeprägte Sekundärluftöffnungen. Durch diese zieht der warme Schornstein im Stillstand Luft, die den Heizkessel auskühlt. Mit einer Abgasklappe lässt sich dieser Luftstrom vermeiden.