

DIN EN 13384-1

ICS 91.060.40

Ersatz für
DIN EN 13384-1:2015-06

**Abgasanlagen –
Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren –
Teil 1: Abgasanlagen mit einer Verbrennungseinrichtung;
Deutsche Fassung EN 13384-1:2015+A1:2019**

Chimneys –
Thermal and fluid dynamic calculation methods –
Part 1: Chimneys serving one heating combustion;
German version EN 13384-1:2015+A1:2019

Conduits de fumée –
Méthodes de calcul thermo-aéraulique –
Partie 1: Conduits de fumée ne desservant qu'un seul appareil;
Version allemande EN 13384-1:2015+A1:2019

Gesamtumfang 107 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-1:2015+A1:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von ASI (Österreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-11-39 AA „Abgasanlagen (SpA zu CEN/TC 166 und CEN/TC 166/WG 1, WG 2)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Im Europäischen Vorwort wurde eine Nationale Fußnote zum Datum der Annahme der Änderung A1 eingefügt.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13384-1:2015-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Begriff „Feuerstätte“ wurde im gesamten Dokument durch den Begriff „Verbrennungseinrichtung“ ersetzt;
- b) der Begriff „Zuluft“ wurde im gesamten Dokument durch den Begriff „Verbrennungsluft“ ersetzt;
- c) der Unterabschnitt 5.2.2 „Abgasmassenstrom“ wurde umfangreich überarbeitet;
- d) die Gleichung (43) in 5.11.4 sowie die Gleichung (51) und Gleichung (53) in 6.4.1 wurden überarbeitet;
- e) die Tabelle B.1 wurde umfangreich überarbeitet;
- f) die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4705: 1944-04

DIN 4705-1: 1979-09, 1993-10

DIN 4705-2: 1979-09

DIN 4705-10: 1984-12

DIN EN 13384-1: 2003-03, 2006-03, 2008-08, 2015-06

Deutsche Fassung

Abgasanlagen —
Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren —
Teil 1: Abgasanlagen mit einer Verbrennungseinrichtung

Chimneys —
Thermal and fluid dynamic calculation methods —
Part 1: Chimneys serving one heating combustion

Conduits de fumée —
Méthodes de calcul thermo-aéraulique —
Partie 1: Conduits de fumée ne desservant
qu'un seul appareil

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. Januar 2015 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 27. April 2019 vom CEN angenommen wurde.

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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, Serbien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Berechnungsverfahren für Abgasanlagen, ausgenommen Luft-Abgas-Systeme.....	17
5.1 Allgemeine Grundsätze	17
5.2 Druckbedingungen.....	18
5.2.1 Unterdruckabgasanlage.....	18
5.2.2 Überdruckabgasanlage.....	18
5.3 Temperaturbedingung	19
5.4 Berechnungsverfahren.....	20
5.5 Charakteristische Abgaswerte für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	21
5.5.1 Allgemeines	21
5.5.2 $\boxed{A_1}$ Abgasmassenstrom und Verbrennungsluftmassenstrom	21
5.5.3 Abgastemperatur.....	22
5.5.4 Notwendiger Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ (P_W) für Unterdruckabgasanlagen	23
5.5.5 Zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ (P_{Wmax}) für Unterdruckabgasanlagen	23
5.5.6 Zur Verfügung stehender Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ (P_{W0}) für eine Überdruckabgasanlage	23
5.5.7 Erforderlicher Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ (P_{W0min}) für eine Überdruckabgasanlage.....	24
5.6 Kennwerte für die Berechnung	24
5.6.1 Allgemeines	24
5.6.2 Mittlere Rauigkeit (r)	24
5.6.3 Wärmedurchlasswiderstand ($1/\Lambda$)	24
5.7 Grundwerte für die Berechnung.....	25
5.7.1 Lufttemperaturen.....	25
5.7.2 Außenluftdruck (p_L)	27
5.7.3 Gaskonstante.....	27
5.7.4 Dichte der Außenluft (ρ_L).....	27
5.7.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases (c_p).....	28
5.7.6 Taupunkttemperatur (T_{sp})	28
5.7.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (S_H).....	28
5.7.8 Strömungstechnischer Sicherheitskoeffizient (S_E)	28
5.8 Ermittlung der Temperaturwerte	29
5.8.1 Allgemeines	29
5.8.2 Berechnung der Abkühlzahl (K).....	29
5.8.3 Wärmedurchgangskoeffizient (k_p)	30
5.9 Ermittlung der Dichte des Abgases und der Abgasgeschwindigkeit	32
5.9.1 Dichte des Abgases (ρ_m)	32

5.9.2	Geschwindigkeit des Abgases (w_m)	32
5.10	Ermittlung der Drücke.....	33
5.10.1	Druck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage.....	33
5.10.2	Ruhedruck (P_H)	34
5.10.3	Widerstandsdruck des senkrechten Teils der Abgasanlage (P_R)	34
5.10.4	Winddruck (P_L).....	36
5.11	Notwendiger und zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (P_{Ze} und P_{Zemax}) sowie maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (P_{ZOe} und P_{ZOemin}).....	36
5.11.1	Allgemeines	36
5.11.2	Notwendiger Förderdruck und zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung (P_W und P_{Wmax}) sowie zur Verfügung stehender Förderdruck und erforderlicher Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung (P_{WO} und P_{WOmin}).....	37
5.11.3	Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück (P_{FV})	37
5.11.4	Notwendiger Förderdruck für die Zuluft (P_B).....	39
5.12	Ermittlung der Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage (T_{iob})	40
6	Nebenluft für Unterdruckabgasanlagen	41
6.1	Allgemeines	41
6.2	Berechnungsverfahren.....	42
6.3	Grundwerte für die Nebenluftberechnung	42
6.3.1	Allgemeines	42
6.3.2	Mischungsgleichungen	42
6.4	Druckberechnung.....	43
6.4.1	Notwendiger Förderdruck für die Zuluft bei Nebenluft (P_{BNL})	43
6.4.2	Notwendiger Förderdruck für die Nebenluftvorrichtung (P_{NL}).....	44
6.4.3	Notwendiger Förderdruck für den Teil des Verbindungsstücks vor der Nebenluftvorrichtung (P_{FV1})	45
6.4.4	Druckbedingung für die Nebenluft	46
6.5	Temperaturbedingung für die Nebenluft.....	46
7	Berechnungsverfahren für Luft-Abgas-Systeme	46
7.1	Allgemeine Grundsätze	46
7.2	Druckbedingungen	48
7.3	Temperaturbedingungen	48
7.4	Berechnungsverfahren.....	48
7.5	Abgaskennwerte der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung ($\boxed{A_1}$).....	49
7.6	Kennwerte für die Berechnung.....	49
7.7	Grundwerte für die Berechnung.....	49
7.7.1	Lufttemperaturen.....	49
7.7.2	Weitere Grundwerte	50
7.8	Ermittlung der Temperaturwerte.....	50
7.8.1	Nicht-konzentrische (nebeneinander liegende) Schächte.....	50
7.8.2	Konzentrische Schächte — Berechnung basierend auf einem Korrekturfaktor für Wärmestrahlung.....	51
7.8.3	Konzentrische Schächte — Berechnung auf Basis der Wärmestrahlung	67
7.8.4	Mittlere Temperaturen für die Druckberechnung.....	71
7.9	Ermittlung der Dichte und der Geschwindigkeit.....	72
7.9.1	Dichte und Geschwindigkeit des Abgases	72
7.9.2	Dichte und Geschwindigkeit der $\boxed{A_1}$ Verbrennungsluft ($\boxed{A_1}$).....	72
7.10	Ermittlung der Drücke.....	73

7.10.1	Druck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage.....	73
7.10.2	Ruhedruck in einem Abschnitt der Abgasanlage (P_H).....	73
7.10.3	Förderdruck in einem Abschnitt der Abgasanlage (P_R)	73
7.10.4	Winddruck (P_L)	73
7.11	Notwendiger und zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (P_{Ze} und P_{Zemax}) sowie maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (P_{ZOe} und P_{ZOemin})	74
7.11.1	Allgemeines	74
7.11.2	Notwendiger Förderdruck und zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ (P_W und P_{Wmax}) sowie zur Verfügung stehender Förderdruck und erforderlicher Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ (P_{WO} und P_{WOmin})	74
7.11.3	Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück (P_{FV})	74
7.11.4	Förderdruck der Zuluft	74
7.12	Ermittlung der Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage (T_{iob})	78
8	Berücksichtigung der Kondensationswärme des Wasserdampfs im Abgas.....	78
8.1	Allgemeines	78
8.2	Beginn der Kondensation	79
8.3	Berechnung der Abgastemperatur am Austritt des Abschnittes der Abgasanlage mit Kondensation ($j \geq NsegK$).....	82
9	Berücksichtigung von Abgasventilatoren	87
9.1	Allgemeines	87
9.2	Einbauventilatoren	88
9.3	Abgassauger.....	89
Anhang A (informativ)	Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands	91
Anhang B (informativ)	Tabellen	92
Anhang C (informativ)	Einfluss der Mündung von Abgasanlagen auf benachbarte Gebäude.....	104
Anhang D (informativ)	Bestimmung der Gaskonstante R unter Berücksichtigung von Kondensation.....	105

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-1:2015+A1:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von ASI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2020 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt **A1** EN 13384-1:2015 **A1**.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, die vom CEN am 26. Juni 2019^{N1)} angenommen wurde.

Gegenüber EN 13384-1:2002+A2:2008 und EN 13384-1:2015+A1:2019 wurden folgende grundlegende Änderungen vorgenommen:

- redaktionelle Fehler wurden korrigiert;
- Fehler in Gleichungen wurden korrigiert;
- für Holz ist der Anstieg des Wasserdampfdruckpunkts durch Säurekondensation nicht mehr angegeben;
- die Tabelle der Werkstoffeigenschaften in Tabelle B.5, wurde an EN 15287-1 angepasst und durch den Strahlungsbeiwert ergänzt;
- die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands nach Anhang A ist mit dem Verfahren in EN 15287-1 verknüpft, um die Temperaturabhängigkeit einzuschließen;
- für nicht-konzentrische Leitungen wurde die Berechnung der mittleren Temperatur der Luftzufuhr geändert;
- für Abgasventilatoren wurde ein Berechnungsverfahren hinzugefügt;
- „Feuerstätte“ wurde ersetzt durch „Verbrennungseinrichtung“;
- neue Berechnung für den Verbrennungsluftmassenstrom wurde eingeführt;
- „Zuluft“ wurde ersetzt durch „Verbrennungsluft“.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch **A1** **A1** angegeben.

N1) Das Datum müsste „27. April 2019“ lauten.

Diese Europäische Normenreihe *Abgasanlagen — Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren* besteht aus drei Teilen:

- *Teil 1: Abgasanlagen mit einer Verbrennungseinrichtung*
- *Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Verbrennungseinrichtungen*
- *Teil 3: Verfahren zur Entwicklung von Diagrammen und Tabellen für Abgasanlagen mit einer Feuerstätte*

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, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren von Abgasanlagen mit einer **A1** Verbrennungseinrichtung **A1** fest.

Diese Europäische Norm gilt sowohl für Unterdruck- als auch für Überdruckanlagen in feuchter und trockener Betriebsweise. Sie gilt für Abgasanlagen von **A1** Verbrennungseinrichtungen **A1** mit Brennstoffen, deren Abgaskennwerte, die für die Berechnung benötigt werden, bekannt sind.

Das Berechnungsverfahren dieser Europäischen Norm gilt für Abgasanlagen mit einem Anschluss für eine Verbrennungseinrichtung. Das Berechnungsverfahren nach Teil 2 dieser Europäischen Norm gilt dagegen für Abgasanlagen mit mehreren Anschlüssen und für einen Anschluss mit mehreren Verbrennungseinrichtungen. Teil 3 beschreibt Verfahren zur Entwicklung von Diagrammen und Tabellen für Abgasanlagen mit einer **A1** Verbrennungseinrichtung **A1**.

2 Normative Verweisungen

A1 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). **A1**

EN 1443, *Abgasanlagen — Allgemeine Anforderungen*

EN 1856-1, *Abgasanlagen — Anforderungen an Metall-Abgasanlagen — Teil 1: Bauteile für System-Abgasanlagen*

EN 1859, *Abgasanlagen — Metall-Abgasanlagen — Prüfverfahren*

EN 13502, *Abgasanlagen — Anforderungen und Prüfverfahren für Keramik-Aufsätze*

EN 15287-1:2007+A1:2010, *Abgasanlagen — Planung, Montage und Abnahme von Abgasanlagen — Teil 1: Abgasanlagen für raumluftabhängige Feuerstätten*

prEN 16475-2, *Abgasanlagen — Zubehörteile — Teil 2: Abgasventilatoren — Anforderungen und Prüfmethode*

CEN/TR 1749, *Europäischer Leitfaden für die Klassifizierung von Gasgeräten nach der Art der Abgasabführung (Arten)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1443 und die folgenden Begriffe.

A1 ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/> **A1**

- 3.1**
Wärmeleistung
 Q
von der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ erzeugte Wärmemenge je Zeiteinheit
- 3.1.1**
Nennwärmeleistung
 Q_N
vom Hersteller abhängig von der Art des Brennstoffs festgelegte Dauerleistung der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$
- 3.1.2**
Wärmeleistungsbereich
vom Hersteller unterhalb der Nennwärmeleistung festgelegter Bereich, in dem die Verbrennungseinrichtung eingesetzt werden kann
- 3.2**
Feuerungswärmeleistung
 Q_F
der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ in der Zeiteinheit vom Brennstoff zugeführte Wärmemenge, basierend auf dem Netto-Heizwert H_u
- 3.3**
Wirkungsgrad der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$
 η_W
Verhältnis der abgegebenen nutzbaren Wärmeleistung (Q) der Verbrennungseinrichtung zur Feuerungswärmeleistung (Q_F)
- 3.4**
Abgasmassenstrom
 $\dot{m}$
Masse der Abgase, welche die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ durch das Verbindungsstück in der Zeiteinheit verlassen
- 3.5**
wirksame Höhe der Abgasanlage
 H
Höhenunterschied zwischen der Achse der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage und der Mündung
- 3.6**
wirksame Höhe des Verbindungsstücks
 H_V
Höhenunterschied zwischen der Achse des Abgasstutzens der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ und der Achse der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage
- Anmerkung 1 zum Begriff: Bei offenen Kaminen ist H_V der Höhenunterschied zwischen der Oberkante der Feuerraumöffnung und der Achse der Abgaseinführung in die Abgasanlage.
- 3.7**
Zug
positiver Wert des Unterdrucks in der Abgasanlage

3.8

Ruhedruck

P_H

Druckdifferenz durch das unterschiedliche Dichten der Luftsäule im Freien und der Abgassäule im senkrechten Teil der Abgasanlage

3.9

Widerstandsdruck des senkrechten Teils der Abgasanlage

P_R

Druck, der erforderlich ist, um die Strömungswiderstände für den Abgasmassenstrom im senkrechten Teil der Abgasanlage zu überwinden

3.10

Winddruck

P_L

Druck, der durch Wind auf die Abgasanlage einwirkt

3.11

minimaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_Z

Differenz zwischen dem niedrigsten Ruhedruck und der Summe aus dem höchsten Widerstandsdruck der Abgasanlage und dem Winddruck

3.12

maximaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{Zmax}

Differenz zwischen dem höchsten Ruhedruck und dem niedrigsten Widerstandsdruck im senkrechten Teil der Abgasanlage

3.13

notwendiger Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$

P_W

Differenz zwischen dem Luftdruck im Aufstellungsraum der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ und dem Unterdruck des Abgases am Abgasstutzen der Verbrennungseinrichtung, welcher notwendig ist, um einen einwandfreien Betrieb der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ sicherzustellen

3.14

zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$

P_{Wmax}

Differenz zwischen dem statischen Luftdruck im Aufstellungsraum der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ und dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Verbrennungseinrichtung, welche maximal zulässig ist, um einen einwandfreien Betrieb der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ beizubehalten

3.15

notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück

P_{FV}

Druckdifferenz zwischen der Achse der Einmündung des Verbindungsstücks und der Achse des Abgasstutzens der Verbrennungseinrichtung, gebildet durch die Differenz zwischen dem Ruhedruck und dem Widerstandsdruck des Verbindungsstücks

3.16 notwendiger Förderdruck für die Zuluft

P_B
Differenz zwischen dem Luftdruck im Freien und dem Luftdruck im Aufstellungsraum der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ in gleicher Höhe

3.17 notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage

P_{Ze}
Summe des notwendigen Förderdrucks für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, des notwendigen Förderdrucks für das Verbindungsstück und des notwendigen Förderdrucks für die Zuluft

3.18 zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{Zemax}
Summe des zulässigen Unterdrucks an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, des notwendigen Förderdrucks für das Verbindungsstück und des notwendigen Förderdrucks für die Zuluft

3.19 maximaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{ZO}
Differenz aus dem maximalen Widerstandsdruck, dem minimalen Ruhedruck des senkrechten Teils der Abgasanlage und dem Winddruck

3.20 minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{ZOmin}
Differenz aus dem minimalen Widerstandsdruck und dem maximalen Ruhedruck der Abgasanlage

3.21 maximaler Förderdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$

P_{WO}
maximal zulässiger Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Verbrennungseinrichtung und dem statischen Luftdruck an der Zuluftzuführung der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, der für den ordnungsgemäßen Betrieb der Verbrennungseinrichtung vorgesehen ist

3.22 erforderlicher Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$

P_{WOmin}
minimal zulässiger Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Verbrennungseinrichtung und dem statischen Luftdruck an der Zuluftzuführung der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, der für den ordnungsgemäßen Betrieb der Verbrennungseinrichtung vorgesehen ist. Dieser minimale Druckunterschied kann einen negativen Wert haben

3.23 maximaler nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{ZOe}
Differenz zwischen dem zur Verfügung stehenden Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft

3.24 Nebenluft

Umgebungsluft, die dem Abgas zusätzlich zum Nenn-Abgasmassenstrom beigemischt wird

3.25

minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage

P_{ZOemin}

Differenz zwischen dem erforderlichen Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ und der Summe aus dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft

3.26

Nebenluftvorrichtung

Zugbegrenzer oder Strömungssicherung

3.27

Zugbegrenzer

Vorrichtung, die automatisch der Abgasanlage, dem Verbindungsstück oder der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ Umgebungsluft zuführt

3.28

Strömungssicherung

Einrichtung, die im Abgasweg einer $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ angeordnet ist, um die Verbrennungsgüte innerhalb der vorgegebenen Grenzen aufrechtzuerhalten und um die Verbrennung in einem bestimmten Bereich der Abströmung und der Rückströmung stabil zu halten

3.29

Grenztemperatur an der Innenwand

T_g

erforderliche Mindesttemperatur an der Innenwand an der Mündung der Abgasanlage

3.30

Luftschacht

Bauteil oder Bauteile parallel zum senkrechten Teil der Abgasanlage (daneben stehend oder konzentrisch), welche(s) die Verbrennungsluft von der Außenluft zum Eintritt der Verbindungsluftleitung führt (führen)

3.31

Luft-Abgas-System

Abgasanlage, bei welcher der Ort für den Eintritt der Zuluft in den Luftschacht neben dem Ort des Austritts der Verbrennungsprodukte aus dem Abgasweg liegt; dabei sind Eintritt und Austritt so angeordnet, dass Windeinflüsse ausgeglichen werden

3.32

Abschnitt einer Abgasanlage

Berechnungsabschnitt des senkrechten Teils einer Abgasanlage

3.33

Kondensat-Massenstrom

$\Delta \dot{m}_D$

Masse des Wasserdampfs, die sich durch Kondensationsvorgänge in der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, dem Verbindungsstück oder dem senkrechten Teil der Abgasanlage in der Zeiteinheit ergibt

3.34

Verbindungsluftleitung

Bauteil oder Bauteile, welche(s) den Austritt des Luftschachts mit der raumluftunabhängigen $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ verbindet bzw. verbinden

3.35 Kondensationsfaktor

f_K
Anteil des theoretisch höchstens auftretenden Kondensatmassenstroms, der in der Berechnung verwendet werden kann

3.36 Abgasventilatoren Abgassauger oder Einbauventilator

3.36.1 Abgassauger Abgasventilator, der an der Mündung der Abgasanlage positioniert ist

3.36.2 Einbauventilator Abgasventilator, der als Abschnitt des Verbindungsstücks angeordnet ist

4 Symbole und Abkürzungen

Die angegebenen Symbole können, soweit erforderlich, durch einen oder mehrere Indizes als Hinweis für Orte und Stoffe ergänzt werden.

Tabelle 1 — Symbole, Benennungen und Einheiten

Symbol	Benennung	Einheit
A	Querschnittsfläche	m^2
c	spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_p	spezifische Wärmekapazität des Abgases	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	Schichtdicke	m
D	Durchmesser	m
D_h	hydraulischer Durchmesser	m
E	Wärmeflussverhältnis	—
g	Erdbeschleunigung	m/s^2
H	wirksame Höhe des senkrechten Teils der Abgasanlage	m
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
K	Abkühlzahl	—
L	Länge	m
l_c	Anteil der Kondensationsoberfläche	—
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom	kg/s
$\dot{m}_w$	Abgasmassenstrom der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, reduziert bezüglich Kondenswasser	kg/s
$\dot{m}_D$	Kondensatmassenstrom	kg/s

Symbol	Benennung	Einheit
Nu	Nusselt-Zahl	—
N_{seg}	Anzahl an Abschnitten (Segmentanzahl)	—
p	statischer Druck	Pa
p_L	Außenluftdruck	Pa
P_B	notwendiger Förderdruck für die Zuluft	Pa
P_E	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_{FV}	notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	Pa
P_G	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_H	Ruhedruck	Pa
P_{HV}	Ruhedruck im Verbindungsstück	Pa
P_L	Winddruck	Pa
P_{NL}	notwendiger Förderdruck für Nebenluftvorrichtungen	Pa
P_R	Widerstandsdruck für den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_{RV}	Widerstandsdruck für das Verbindungsstück	Pa
P_W	notwendiger Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	Pa
$P_{W\text{max}}$	zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	Pa
P_{W0}	zur Verfügung stehender Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	Pa
$P_{W0\text{min}}$	erforderlicher Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	Pa
P_Z	minimaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
$P_{Z\text{max}}$	maximaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_{Ze}	notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
$P_{Z\text{emax}}$	zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_{Z0}	maximaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
$P_{Z0\text{min}}$	minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
P_{Z0e}	maximal nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa
$P_{Z0\text{emin}}$	minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage	Pa

Symbol	Benennung	Einheit
$P_{Z \text{ excess}}$	höchstzulässiger Auslegungsdruck der Abgasanlage	Pa
$P_{ZV \text{ excess}}$	höchstzulässiger Auslegungsdruck des Verbindungsstücks	Pa
Pr	Prandtl-Zahl	—
q_C	Wärmestrom vom Abgas auf die Außenschale	W
q_K	Kondensationswärme	W
Q	Wärmeleistung	kW
Q_F	Feuerungswärmeleistung	kW
Q_N	Nennwärmeleistung	kW
r	mittlere Rauigkeit der Innenwand	m
R	Gaskonstante des Abgases	J/(kg · K)
R_L	Gaskonstante der Luft	J/(kg · K)
Re	Reynolds-Zahl	—
s	Querschnitt	m
S_E	strömungstechnischer Sicherheitskoeffizient	—
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	—
S_{rad}	Korrekturfaktor für Strahlung	—
t	Temperatur	°C
T	absolute Temperatur	K
T_g	Grenztemperatur	K
T_{io}	Innenwandtemperatur an der Mündung	K
T_{iob}	Innenwandtemperatur an der Mündung für Temperaturbeharrung	K
T_{irb}	Abgastemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung	K
T_L	Außenlufttemperatur	K
T_m	mittlere Temperatur des Abgases	K
T_p	Wasserdampftaupunkt	K
T_{sp}	Taupunkttemperatur	K
T_u	Umgebungstemperatur	K
T_{ub}	Umgebungstemperatur des Heizraums	K
T_{uh}	Umgebungstemperatur für beheizte Bereiche	K
T_{ul}	Umgebungstemperatur für Bereiche außerhalb eines Gebäudes	K
T_{uo}	Umgebungstemperatur für Außenbereiche	K

Symbol	Benennung	Einheit
T_{ur}	Umgebungstemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung	K
T_{uu}	Umgebungstemperatur für unbeheizte Bereiche innerhalb eines Gebäudes	K
T_W	Abgastemperatur der Verbrennungseinrichtung	K
T_{WN}	Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung	K
T_{Wmin}	Abgastemperatur bei der niedrigsten Wärmeleistung	K
U	Umfang	m
w	über einen Querschnitt, gemittelte Geschwindigkeit	m/s
w_m	über eine Strecke, gemittelte Geschwindigkeit	m/s
y	Formbeiwert	—
z	Höhe über dem Meeresspiegel	m
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² · K)
β	Verhältnis der Massenströme Verbrennungsluft zu Abgas	—
γ	Winkel bei Richtungsänderungen	°
δ	Wanddicke	m
ε	Verhältnis der Strahlung des schwarzen Körpers, abgestrahlt von einer Oberfläche	—
ζ	Widerstandszahl infolge Richtungs- und/oder Querschnittsänderungen und/oder Änderungen des Abgasmassenstroms	—
η	dynamische Viskosität	N · s/m ²
η_W	Wirkungsgrad der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$	—
η_{WN}	Wirkungsgrad der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ bei Nennwärmeleistung	—
λ	Wärmeleitfähigkeitskoeffizient	W/(m · K)
ρ	Dichte	kg/m ³
ρ_L	Dichte der Außenluft	kg/m ³
ρ_m	über eine Strecke und über einen Querschnitt, gemittelte Dichte der Abgase	kg/m ³
$\sigma(\text{CO}_2)$	Volumenkonzentration an CO ₂	%
$\sigma(\text{H}_2\text{O})$	Volumenkonzentration an H ₂ O (Wasserdampf)	%
σ_{Rad}	Strahlung des schwarzen Körpers	W/(m ² · K ⁴)
ψ	Rohrreibungszahl	—
$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$	Wärmedurchlasswiderstand	m ² · K/W

Tabelle 2 — Zusätzliche Indizes

Index	Benennung	Einheit
a	Außenseite	—
A	Abgas	—
b	Temperaturbeharrung	—
B	Verbrennungsluft	—
D	Wasserdampf	—
e	Eintritt	—
F	offener Kamin	—
G	Geschwindigkeitsänderung	—
i	Innenseite	—
K	Kondensation	—
L	Außenluft	—
m	Mittelwert	—
M	Mischung	—
n	laufender Index	—
N	Nennwert	—
NL	Nebenluft	—
o	Austritt	—
O	Überdruck	—
tot	insgesamt für alle Querschnitte (Abschnitte)	—
u	Umgebungsluft	—
V	Verbindungsstück	—
W	$\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$	—

5 Berechnungsverfahren für Abgasanlagen, ausgenommen Luft-Abgas-Systeme

5.1 Allgemeine Grundsätze

Die Berechnung der Innenabmessungen (Querschnitt) von Unterdruckabgasanlagen basiert auf den folgenden vier Kriterien:

- der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage;
- der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als der notwendige Förderdruck für die Zuluft;
- der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss gleich oder kleiner sein als der zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage;
- die Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als die Grenztemperatur.

Die Berechnung der Innenabmessungen (Querschnitt) von Überdruckabgasanlagen basiert auf den folgenden vier Kriterien:

- der maximale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss gleich oder kleiner sein als der maximal nutzbare Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage;
- der maximale Überdruck im Verbindungsstück und im senkrechten Teil der Abgasanlage darf nicht größer sein als der maximal zulässige Überdruck, für den beide gekennzeichnet sind;
- der niedrigste Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage;
- die Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als die Grenztemperatur.

ANMERKUNG Die Druckbedingungen für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck sind nur zutreffend, wenn es einen Grenzwert für den zulässigen Unterdruck für die Unterdruck- A_1 Verbrennungseinrichtung A_1 oder einen erforderlichen Überdruck für die Überdruck- A_1 Verbrennungseinrichtung A_1 gibt.

Zur Verifizierung der Kriterien werden zwei Reihen von äußeren Bedingungen verwendet:

- die Berechnung des minimalen Unterdrucks und des maximalen Überdrucks erfolgt unter Bedingungen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Abgasanlage minimal ist (d. h. bei hoher Außentemperatur); und auch
- die Berechnung des maximalen Unterdrucks und des minimalen Überdrucks sowie der Innenwandtemperatur erfolgt bei Bedingungen, bei denen die Innentemperatur der Abgasanlage minimal ist (d. h. bei niedriger Außentemperatur).

5.2 Druckbedingungen

5.2.1 Unterdruckabgasanlage

Folgende Beziehungen sind einzuhalten:

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \geq P_W + P_{FV} + P_B = P_{Ze}, \quad \text{in Pa} \quad (1)$$

$$P_Z \geq P_B, \quad \text{in Pa} \quad (2)$$

und sofern zutreffend

$$P_{Zmax} = P_H - P_R \leq P_{Wmax} + P_{FV} + P_B = P_{Zemax}, \quad \text{in Pa} \quad (2a)$$

Dabei ist

P_B der notwendige Förderdruck für die Zuluft (siehe 5.11.3), in Pa;

P_{FV} der notwendige Förderdruck für das Verbindungsstück, in Pa;

P_H der Ruhedruck, in Pa;

P_L der Winddruck, in Pa;

P_R der Widerstandsdruck für den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;

P_W der notwendige Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, in Pa;

P_{Wmax} der zulässige Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, in Pa;

P_Z der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (siehe 5.10), in Pa;

P_{Zmax} der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage (siehe 5.11), in Pa;

P_{Ze} der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;

P_{Zemax} der zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa.

ANMERKUNG Die Werte für P_H und P_R in Gleichung (1) und Gleichung (2a) unterscheiden sich im Allgemeinen, weil unterschiedliche Bedingungen vorliegen.

5.2.2 Überdruckabgasanlage

Folgende Beziehungen sind einzuhalten:

$$P_{ZO} = P_R - P_H + P_L \leq P_{WO} - P_B - P_{FV} = P_{Zoel}, \quad \text{in Pa} \quad (3)$$

$$P_{ZO} \leq P_{Z\text{ excess}}, \quad \text{in Pa} \quad (4)$$

$$P_{ZO} + P_{FV} \leq P_{ZV\text{ excess}}, \quad \text{in Pa} \quad (5)$$

und sofern zutreffend

$$P_{ZOmin} = P_R - P_H \geq P_{WOmin} - P_B - P_{FV} = P_{Zoemin}, \quad \text{in Pa} \quad (5a)$$

Dabei ist

P_B	der notwendige Förderdruck für die Zuluft, in Pa;
P_{FV}	der notwendige Förderdruck für das Verbindungsstück, in Pa;
P_H	der Ruhedruck, in Pa;
P_L	der Winddruck, in Pa;
P_R	der Widerstandsdruck für den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;
P_{W0}	der zur Verfügung stehende Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, in Pa;
P_{W0min}	der erforderliche Überdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, in Pa;
P_{Z0}	der maximale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;
P_{Z0min}	der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;
P_{Z0e}	der maximale Differenzdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage, in Pa;
P_{Z0emin}	der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, in Pa;
$P_{Z\ excess}$	der höchste zulässige Auslegungsdruck der Abgasanlage, in Pa;
$P_{ZV\ excess}$	der höchste zulässige Auslegungsdruck des Verbindungsstücks, in Pa.

ANMERKUNG Die Werte für P_H und P_R in Gleichung (3) und Gleichung (5a) unterscheiden sich im Allgemeinen, weil unterschiedliche Bedingungen vorliegen.

5.3 Temperaturbedingung

Folgende Beziehung ist nachzuweisen:

$$T_{iob} \geq T_{g'} \quad \text{in K} \quad (6)$$

Dabei ist

T_{iob} die Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, in K;

T_{ig} die Grenztemperatur, in K.

Bei Abgasanlagen, deren freies Ende über Dach eine Wärmedämmung aufweist, ist zusätzlich folgende Bedingung nachzuprüfen:

$$T_{irb} \geq T_{g'} \quad \text{in K} \quad (7)$$

Dabei ist

T_{irb} die Innenwandtemperatur unmittelbar bevor die zusätzliche Dämmung beginnt, in K.

Die Grenztemperatur T_{ig} der Innenwand von Abgasanlagen für die trockene Betriebsweise muss die Taupunkttemperatur T_{isp} des Abgases (siehe 5.7.6) sein.

Im Falle von Abgasanlagen für die feuchte Betriebsweise muss $T_{ig} = 273,15 \text{ K}$ betragen. Diese Bedingung schützt vor Eisbildung an der Mündung der Abgasanlagen.

ANMERKUNG Der Vergleich der Innenwandtemperatur vor der zusätzlichen Dämmung T_{irb} mit der zulässigen Grenztemperatur des Abgases T_{ig} ist nicht erforderlich, wenn der Wert des Wärmedurchlasswiderstands der zusätzlichen Wärmedämmung $0,1 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ nicht übersteigt. Bei Abgasanlagen für die feuchte Betriebsweise ist der Vergleich dann nicht erforderlich, wenn der Wert der Umgebungslufttemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Dämmung $\geq 0 \text{ °C}$ ist.

5.4 Berechnungsverfahren

Für die Berechnung der Druck- und Temperaturwerte nach den Beziehungen der Gleichung (1), Gleichung (2), Gleichung (2a), Gleichung (3), Gleichung (4), Gleichung (5), Gleichung (5a) und Gleichung (6) müssen die Werte für das Abgaswerte-Tripel der Verbrennungseinrichtung nach 5.5 ermittelt werden. Für den senkrechten Teil der Abgasanlage und deren Verbindungsstück sind auch die Daten nach 5.6 zu ermitteln. Bei neu zu erstellenden Abgasanlagen sollte ein vorgeschätzter Wert für die Größe der Abgasschacht angesetzt werden.

In 5.7 bis 5.11 werden die Berechnungen beschrieben, die notwendig sind, um die thermischen und strömungstechnischen Eigenschaften der Abgasanlage zu erhalten. In 5.7 sind Gleichungen für die Berechnung von Grundwerten enthalten, die für die weitere Berechnung benötigt werden.

Die Gleichungen für die Berechnung der entsprechenden Temperaturwerte sind in 5.5.3 und 5.8 zusammengestellt. 5.9 enthält Gleichungen zur Berechnung der Dichte des Abgases und der Abgasgeschwindigkeit.

Mit den Gleichungen in 5.10 und 5.11 muss die Druckbedingung überprüft werden. Das Verfahren in 5.12 ist anzuwenden, um die Temperaturbedingung zu bestätigen.

Die Validierung der Druck- und Temperaturbedingung ist durchzuführen:

- entweder für die vom Hersteller angegebene Nennwärmeleistung der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ oder
- für die Nennwärmeleistung und beim kleinsten Wert des vom Hersteller der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ angegebenen Wärmeleistungsbereichs.

Wenn die Druckbedingung für den maximalen Unterdruck (2a) oder die Temperaturbedingungen (6) und (7) von Unterdruckabgasanlagen nicht erfüllt sind, kann versucht werden das gewünschte Ergebnis durch Berücksichtigung einer Zumischung von Nebenluft in das Abgas nach Abschnitt 6 zu erreichen.

ANMERKUNG Die Temperaturbedingung braucht für folgende Bedingungen nicht eingehalten zu werden, wenn akzeptiert wird, dass bei Nichterfüllung der Temperaturbedingung nicht sichergestellt werden kann, dass keine Feuchtigkeit auftritt.

Die Bedingungen sind:

- Austausch der Verbrennungseinrichtung mit einer $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ mit Austritt $< 30 \text{ kW}$, und
- der Abgasverlust der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ beträgt mindestens 8 %, und
- die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ ist mit einer Strömungssicherung ausgestattet, die während des Stillstandbetriebs oder im Betrieb mit kleinen Leistungen ausreichende Belüftung in der Abgasanlage sicherstellt. Dies kann dadurch sichergestellt werden, dass die Leistung der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ überdimensioniert wird.

5.5 Charakteristische Abgaswerte für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$

5.5.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Temperatur- und Druckwerte muss das erforderliche Abgaswerte-Tripel der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, bestehend aus dem Abgasmassenstrom, der Abgastemperatur und dem notwendigen oder zur Verfügung stehenden Förderdruck ermittelt werden. Zusätzlich müssen die Art des Brennstoffs, die Volumenkonzentration an CO_2 im Abgas und die geometrischen Abmessungen des Verbindungsstücks angegeben werden.

Typische Daten einiger Brennstoffe sind in Tabelle B.1 angegeben.

Typische Daten für einige $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtungen $\boxed{A_1}$ sind in Tabelle B.2 und Tabelle B.3 angegeben.

5.5.2 $\boxed{A_1}$ Abgasmassenstrom und Verbrennungsluftmassenstrom

5.5.2.1 Abgasmassenstrom und Verbrennungsluftmassenstrom bei Nennwärmeleistung der Verbrennungsstätte

Zur Berechnung der Druck- und Temperaturwerte nach Gleichung (1), Gleichung (2), Gleichung (2a), Gleichung (3), Gleichung (4), Gleichung (5), Gleichung (5a) und Gleichung (6) muss der Abgasmassenstrom und der Verbrennungsluftmassenstrom bei Nennwärmeleistung der Verbrennungsstätte ermittelt werden.

Liegen keine Herstellerwerte für den Abgasmassenstrom und den Verbrennungsluftmassenstrom sowie die Volumenkonzentration an CO_2 vor, können diese Werte nach den Gleichungen in Tabelle B.1, Tabelle B.2 und Tabelle B.3 ermittelt werden.

Ist die Abgasanlage an eine Verbrennungseinrichtung für mehrere Brennstoffe angeschlossen, sollten in der Berechnung und der Querschnittsbemessung alle in Frage kommenden Brennstoffe berücksichtigt werden.

Bei Verbrennungseinrichtung mit Strömungssicherung muss der Abgasmassenstrom nach der Strömungssicherung verwendet werden.

Der Abgasmassenstrom $\dot{m}$ und der Verbrennungsluftmassenstrom $\dot{m}_B$ eines offenen Kamins hängt von der Größe der Öffnung des Feuerraums ab. Für die Berechnung ist die folgende Gleichung zu verwenden:

$$\dot{m} = f_{mf} \cdot A_F, \quad \text{in kg/s} \quad (8)$$

$$\dot{m}_B = \dot{m}, \quad \text{in kg/s} \quad (8a)$$

Dabei ist

f_{mf} der Massenstromfaktor eines offenen Kamins, in $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;

A_F der Querschnitt der Öffnung eines offenen Kamins, in m^2 .

Für offene Kamine, deren Öffnungshöhe gleich oder kleiner als ihre Öffnungsbreite ist, gilt: $f_{mf} = 0,139 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$.

Für offene Kamine, deren Öffnungshöhe größer als ihre Öffnungsbreite ist, gilt: $f_{mf} = 0,167 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$.

Die Volumenkonzentration an CO_2 des Abgases eines offenen Kamines kann mit $\sigma(\text{CO}_2) = 1 \%$ angenommen werden.

5.5.2.2 Abgasmassenstrom und Verbrennungsluftmassenstrom bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung

Wird die Verbrennungseinrichtung planmäßig modulierend betrieben, müssen die Druck- und Temperaturbedingungen des Abgasmassenstroms und des Verbrennungsmassenstroms zusätzlich bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung überprüft werden. Liegen keine Herstellerwerte kleinster möglicher Wärmeleistung vor, ist ein Massenstrom von einem Drittel des Abgasmassenstroms und des Verbrennungsluftmassenstroms bei Nennwärmeleistung zu verwenden.

5.5.2.3 Abgasmassenstrom und Verbrennungsluftmassenstrom beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an den Verbrennungseinrichtungen

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss der Abgasmassenstrom und der Verbrennungsluftmassenstrom beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der Verbrennungseinrichtung vom Hersteller der Verbrennungseinrichtung angegeben werden, falls zutreffend.

5.5.2.4 Abgasmassenstrom mit Nebenluft

Wenn Nebenluft durch eine Nebenluftvorrichtung oder durch eine Strömungssicherung zugeführt wird, muss der Nebenluftstrom nach 6.3, in Abhängigkeit von dem vorhandenen Differenzdruck im Aufstellungsraum der Verbrennungseinrichtung und im senkrechten Teil der Abgasanlage oder im Verbindungsstück erfolgen. $\langle A_1 \rangle$

5.5.3 Abgastemperatur

5.5.3.1 Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung (T_{WN})

Die Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung, T_{WN} , muss vom Hersteller der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ angegeben werden. Wenn die $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtungen $\langle A_1 \rangle$ mit einer Strömungssicherung ausgestattet ist, muss die Abgastemperatur nach der Strömungssicherung verwendet werden.

Wenn der Hersteller Daten angibt, welche die Abgastemperatur nach der Strömungssicherung, abhängig vom Unterdruck beschreiben, sind diese Werte für die Berechnung zu verwenden.

Wenn die Abgastemperatur T_{WN} für offene Kamine nicht bekannt ist, sollte ein Wert von $t_{WN} = 80^\circ\text{C}$ ($T_{WN} = 353,15\text{ K}$) verwendet werden.

5.5.3.2 Abgastemperatur bei der niedrigsten Wärmeleistung (T_{Wmin})

Die Abgastemperatur bei der niedrigsten Wärmeleistung, T_{Wmin} , muss vom Hersteller der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ angegeben werden. Wenn dieser Wert nicht verfügbar ist, ist die Abgastemperatur in $^\circ\text{C}$ mit 2/3 des Wertes der Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung zu verwenden.

5.5.3.3 Abgastemperatur bei zulässigem Unterdruck oder bei erforderlichlichem Überdruck an der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage muss die Abgastemperatur beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ vom Hersteller der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ angegeben werden, falls zutreffend.

5.5.4 Notwendiger Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ (P_W) für Unterdruckabgasanlagen

Bei der Berechnung muss bei Unterdruckabgasanlagen der notwendige Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ P_W vom Hersteller der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ angegeben werden.

Liegen keine Werte vor, so sollten die Werte für den notwendigen Förderdruck für die $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ aus den Produktnormen der entsprechenden $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtungen $\boxed{A_1}$ entnommen werden. Sind keine Daten für die Verbrennungseinrichtung verfügbar, siehe Tabelle B.2.

Ist der Wert für den notwendigen Förderdruck negativ (bei Überdruckbetrieb), ist in die Berechnung der Wert $P_W = 0$ einzusetzen.

Wenn für Gasfeuerstätten des Typs B₁ nach CEN/TR 1749 keine gültigen Werte für die Strömungssicherung vom Hersteller angegeben werden, ist der notwendige Förderdruck mit einem Wert von 3 Pa und für alle anderen Gasfeuerstätten mit Strömungssicherung mit einem Wert von 10 Pa anzunehmen.

Der notwendige Förderdruck P_W für offene Kamine sollte mit dessen Daten für den Abgasmassenstrom und den Querschnitt an der Mündung der Abgasanlage berechnet werden. Der Ruhedruck für die Verbrennungseinrichtung und für den Abgassammler sollte vernachlässigt werden. Der im Abgassammler auftretende Strömungswiderstand wird durch den Wert des strömungstechnischen Sicherheitskoeffizienten von $S_E = 1,5$ berücksichtigt.

$$P_W = \frac{\dot{m}^2}{2 \cdot \rho_W \cdot A_W^2} \cdot S_E, \quad \text{in Pa} \quad (9)$$

Dabei ist

$\dot{m}$ der Abgasmassenstrom, in kg/s;

S_E der strömungstechnische Sicherheitskoeffizient;

ρ_W die Dichte des Abgases im Abgasstutzen des offenen Kamins, in kg/m³;

A_W der Querschnitt im Abgasstutzen des offenen Kamins, in m².

5.5.5 Zulässiger Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ ($P_{W\max}$) für Unterdruckabgasanlagen

Zur Berechnung für Unterdruckabgasanlagen muss der Wert für den zulässigen Unterdruck an der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, $P_{W\max}$, vom Hersteller der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ angegeben werden, falls zutreffend.

5.5.6 Zur Verfügung stehender Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ (P_{W0}) für eine Überdruckabgasanlage

Der für die Berechnung einer Überdruckabgasanlage benötigte zur Verfügung stehende Förderdruck der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, P_{W0} , ist vom Hersteller der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$ anzugeben.

5.5.7 Erforderlicher Überdruck an der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ (P_{W0min}) für eine Überdruckabgasanlage

Der für die Berechnung einer Überdruckabgasanlage benötigte erforderliche Überdruck der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$, P_{W0min} , ist vom Hersteller der $\langle A_1 \rangle$ Verbrennungseinrichtung $\langle A_1 \rangle$ anzugeben.

5.6 Kennwerte für die Berechnung

5.6.1 Allgemeines

Für die Berechnung der notwendigen Druck- und Temperaturgrößen sind zuerst die Rauigkeit der Innenwand und der Wärmedurchlasswiderstand für das Verbindungsstück und für den senkrechten Teil der Abgasanlage zu ermitteln.

5.6.2 Mittlere Rauigkeit (r)

Die mittlere Rauigkeit der Innenschale ist vom Produkthersteller anzugeben. Mittlere Rauigkeiten für übliche Werkstoffe von Innenschalen sind in Tabelle B.4 angegeben.

5.6.3 Wärmedurchlasswiderstand ($1/\Lambda$)

Der Wärmedurchlasswiderstand $1/\Lambda$ einer Systemabgasanlage ist den Produktangaben des Herstellers zu entnehmen.

Der Wärmedurchlasswiderstand $1/\Lambda$ von Bauteilen der Abgasanlage ist den Produktangaben des Herstellers zu entnehmen und sollte die Einflüsse von Wärmebrücken berücksichtigen (z. B. Verbindungsstellen).

Wärmedurchlasswiderstandszahlen für Berechnungszwecke an Systemabgasanlagen und/oder Bauteile sollten üblicherweise unter Berücksichtigung mittlerer Betriebstemperaturen ermittelt werden. Werte für den Wärmedurchlasswiderstand bei Auslegungstemperatur dürfen jedoch auch verwendet werden.

Für mehrschalige Montage-Abgasanlagen muss der Wärmedurchlasswiderstand durch folgende Gleichung ermittelt werden:

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = D_h \cdot \sum_n \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n \cdot \frac{1}{D_{h,n}} \right], \quad \text{in } m^2 \cdot K/W \quad (10)$$

Dabei ist

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

$D_{h,n}$ der hydraulische Durchmesser der Innenseite jeder Schicht, in m;

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n$ der Wärmedurchlasswiderstand einer Rohrschale, bezogen auf deren innere Mantelfläche, in $m^2 \cdot K/W$.

Sind für einzelne Bauteile keine entsprechenden Daten vorhanden, kann der Wärmedurchlasswiderstand nach Anhang A bestimmt werden. Der Wärmedurchlasswiderstand geschlossener Luftspalte ist in Tabelle B.6 angegeben.

5.7 Grundwerte für die Berechnung

5.7.1 Lufttemperaturen

5.7.1.1 Allgemeines

Bei Abgasanlagen, die durch beheizte Zonen geführt werden, muss zwischen Außenlufttemperatur und Umgebungstemperatur unterschieden werden.

5.7.1.2 Außenlufttemperatur (T_L)

Die Außenlufttemperatur T_L muss als höchste Temperatur der Außenluft angesetzt werden, bei der die Abgasanlage üblicherweise betrieben wird.

Die Außenlufttemperatur T_L wird für Heizungsanlagen üblicherweise wie folgt angenommen:

$T_L = 288,15 \text{ K}$ ($t_L = 15 \text{ °C}$) zur Berechnung des minimalen Unterdrucks oder des maximalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage;

$T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$) zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage.

Andere Werte für T_L können auf Basis national akzeptierter Werte verwendet werden.

5.7.1.3 Umgebungslufttemperatur (T_u)

Für die Überprüfung der Druckbedingung für den minimalen Unterdruck oder den maximalen Überdruck ist für die Umgebungslufttemperatur $T_u = T_L$ zu setzen. Für die Überprüfung der Druckbedingung für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck und für die Temperaturbedingung sind für die Umgebungslufttemperatur T_u folgende Werte zu verwenden:

— bei Abgasanlagen ohne belüftete Luftschächte:

$T_{uo} = 258,15 \text{ K}$ ($t_{uo} = -15 \text{ °C}$) für Abgasanlagen mit feuchter Betriebsweise

$T_{uo} = 273,15 \text{ K}$ ($t_{uo} = 0 \text{ °C}$) für Abgasanlagen mit trockener Betriebsweise

$T_{ub} = 288,15 \text{ K}$ ($t_{ub} = 15 \text{ °C}$)

$T_{uh} = 293,15 \text{ K}$ ($t_{uh} = 20 \text{ °C}$)

$T_{ul} = T_{uo}$ ($t_{ul} = t_{uo}$)

$T_{uu} = 273,15 \text{ K}$ ($t_{uu} = 0 \text{ °C}$)

— bei Abgasanlagen mit belüfteten Luftschächten und der Luft entsprechenden Strömungsrichtung des Abgases:

$T_{uo} = 258,15 \text{ K}$ ($t_{uo} = -15 \text{ °C}$) für Abgasanlagen für die feuchte Betriebsweise, deren Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m übersteigt

$T_{uo} = 273,15 \text{ K}$ ($t_{uo} = 0 \text{ °C}$)	für Abgasanlagen für die trockene und die feuchte Betriebsweise, deren Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m nicht übersteigt
$T_{ub} = 288,15 \text{ K}$ ($t_{ub} = 15 \text{ °C}$)	
$T_{uh} = 293,15 \text{ K}$ ($t_{uh} = 20 \text{ °C}$)	
$T_{ul} = 288,15 \text{ K}$ ($t_{ul} = 15 \text{ °C}$)	wenn die Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m nicht übersteigt
$T_{ul} = T_{uo}$ ($t_{ul} = t_{uo}$)	wenn die Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m übersteigt
$T_{uu} = 288,15 \text{ K}$ ($t_{uu} = 15 \text{ °C}$)	wenn die Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m nicht übersteigt
$T_{uu} = 273,15 \text{ K}$ ($t_{uu} = 0 \text{ °C}$)	wenn die Höhe in nicht beheizten Bereichen im Gebäude und im Freien 5 m übersteigt

Andere Werte für T_{uo} können auf Basis national akzeptierter Werte verwendet werden.

Abgasanlagen, die in Bereiche mit unterschiedlichen Umgebungslufttemperaturen angeordnet sind, sollten entweder abschnittsweise mit derselben Umgebungslufttemperatur berechnet werden, oder die Umgebungslufttemperatur kann für die Berechnung entsprechend den Flächenanteilen mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$T_u = \frac{(T_{ub} \cdot A_{ub}) + (T_{uh} \cdot A_{uh}) + (T_{uu} \cdot A_{uu}) + (T_{ul} \cdot A_{ul})}{A_{ub} + A_{uh} + A_{uu} + A_{ul}}, \quad \text{in K} \quad (11)$$

Dabei ist

T_{uo} die Umgebungslufttemperatur an der Mündung der Abgasanlage, in K;

T_{ub} die Umgebungslufttemperatur im Heizraum, in K;

T_{uh} die Umgebungslufttemperatur in beheizten Bereichen, in K;

T_{ul} die Umgebungslufttemperatur für Bereiche außerhalb des Gebäudes, in K;

T_{uu} die Umgebungstemperatur in nicht beheizten Bereichen im Gebäude, in K;

A_{ub} die äußere Oberfläche der Abgasanlage im Heizraum, in m^2 ;

A_{uh} die äußere Oberfläche der Abgasanlage in beheizten Bereichen, in m^2 ;

A_{ul} die äußere Oberfläche der Abgasanlage außerhalb des Gebäudes, in m^2 ;

A_{uu} die äußere Oberfläche der Abgasanlage in nicht beheizten Bereichen im Gebäude, in m^2 .

ANMERKUNG 1 Wenn die Teile der äußeren Oberfläche außerhalb des Gebäudes und in unbeheizten Bereichen nicht mehr als 1/4 der gesamten Oberfläche der Abgasanlage ausmachen, so kann die Umgebungstemperatur T_u mit 288,15 K ($t_u = 15 \text{ °C}$) angenommen werden.

ANMERKUNG 2 Wenn bei Abgasanlagen mit belüfteten Luftschächten und Strömungsrichtung der Luft entsprechend der des Abgases die Höhe des Teils der Abgasanlage im Außenbereich und im nicht beheizten Gebäudebereich 5 m nicht übersteigt, kann die Umgebungslufttemperatur T_u mit 288,15 K ($t_u = 15\text{ °C}$) angenommen werden.

ANMERKUNG 3 Wenn bei Abgasanlagen mit belüfteten Luftschächten und Strömungsrichtung der Luft entgegen der des Abgases die Höhe des Teils der Abgasanlage im Außenbereich und im nicht beheizten Gebäudebereich 5 m nicht übersteigt, kann die Umgebungslufttemperatur T_u mit 273,15 K ($t_u = 0\text{ °C}$) angenommen werden.

5.7.2 Außenluftdruck (p_L)

Der Außenluftdruck p_L ist in Abhängigkeit von der Höhenlage über NN nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$p_L = 97\,000 \cdot e^{\frac{-g \cdot z}{R_L T_L}}, \quad \text{in Pa} \quad (12)$$

Dabei ist

- g die Erdbeschleunigung, $= 9,81\text{ m/s}^2$;
- R_L die Gaskonstante der Luft, in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
- T_L die Außenlufttemperatur, in K;
- z die Höhe über dem Meeresspiegel, in m;
- 97 000 der Außenluftdruck auf Seehöhe, berichtigt wegen Witterungseinflüssen, in Pa.

5.7.3 Gaskonstante

5.7.3.1 Gaskonstante der Luft (R_L)

Die Gaskonstante der Luft, R_L , muss angenommen werden mit $288\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ (bei einer relativen Luftfeuchte $\sigma(\text{H}_2\text{O})$ von 1,1 % Volumenanteil).

5.7.3.2 Gaskonstante des Abgases (R)

Die Gaskonstante R des Abgases ist nach den Gleichungen der Tabelle B.1 und Tabelle B.3 zu bestimmen.

5.7.4 Dichte der Außenluft (ρ_L)

Die Dichte der Außenluft, ρ_L , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L \cdot T_L}, \quad \text{in kg/m}^3 \quad (13)$$

Dabei ist

- p_L der Außenluftdruck, in Pa;
- R_L die Gaskonstante der Luft, in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
- T_L die Außenlufttemperatur, in K.

5.7.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases (c_p)

Die spezifische Wärmekapazität des Abgases, c_p , ist nach den Gleichungen in Tabelle B.1 und Tabelle B.4 zu berechnen.

5.7.6 Taupunkttemperatur (T_{sp})

Für Gas, Heizöl EL und chemisch unbehandeltes Holz muss die Taupunkttemperatur T_{sp} des Abgases der Wasserdampftaupunkt T_p sein. In diesem Falle ist:

$$T_{sp} = T_p \quad (14)$$

Der Wasserdampftaupunkt T_p des Abgases für verschiedene Brennstoffe und Volumenkonzentrationen an CO_2 im Abgas ist nach Gleichung (B.5), Gleichung (B.6) und Gleichung (B.7) zu berechnen.

Für Kohle und Schweröl ist die Taupunkttemperatur des Abgases gleich dem Säuretaupunkt T_{sp} . In diesem Falle ist:

$$T_{sp} = T_p + \Delta T_{sp} \quad (15)$$

Der Anstieg des Taupunkts durch das Schwefeltrioxid im Abgas (ΔT_{sp}) kann nach der Gleichung in Tabelle B.1 berechnet werden. Für die genaue Bestimmung des Säuretaupunkts ist die Kenntnis der Konvertierung von Schwefeldioxid in Schwefeltrioxid (Konversionsfaktor K_f) notwendig. Als Anhaltspunkt kann davon ausgegangen werden, dass die Volumenkonzentration an Schwefeltrioxid (SO_3) etwa 2 % des Schwefeldioxids (SO_2) beträgt.

5.7.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (S_H)

Zur Berechnung des minimalen Unterdrucks oder des maximalen Überdrucks ist der Korrekturfaktor S_H für die Temperaturbeharrung mit 0,5 anzusetzen.

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks ist der Korrekturfaktor S_H für die Temperaturbeharrung mit 1 anzusetzen.

5.7.8 Strömungstechnischer Sicherheitskoeffizient (S_E)

Zur Berechnung des minimalen Unterdrucks von Unterdruckabgasanlagen ist ein strömungstechnischer Sicherheitskoeffizient $S_E = 1,5$ anzuwenden; wenn es sich allerdings um genau in ihrer Funktion überwachte Verbrennungseinrichtungen und Abgasanlagen (z. B. Industrieanlage mit stetiger Überwachung) sowie raumluftunabhängige Verbrennungseinrichtungen mit Gebläsebrennern handelt, ist ein Wert von 1,2 anzusetzen.

Zur Berechnung des maximalen Überdrucks von Überdruckabgasanlagen muss der strömungstechnische Sicherheitskoeffizient S_E ein Mindestwert von 1,2 sein.

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder minimalen Überdrucks muss der strömungstechnische Sicherheitskoeffizient S_E gleich 1 sein.

5.8 Ermittlung der Temperaturwerte

5.8.1 Allgemeines

Für den Druck- und Temperaturnachweis sind die mittleren Abgastemperaturen und die Abgastemperaturen an der Mündung der Abgasanlage zu ermitteln.

Die mittlere Temperatur des Abgases, T_m , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$T_m = T_u + \frac{T_e - T_u}{K} \cdot (1 - e^{-K}), \quad \text{in K} \quad (16)$$

Die Abgastemperatur an der Mündung, T_o , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$T_o = T_u + (T_e - T_u) \cdot e^{-K}, \quad \text{in K} \quad (17)$$

Die mittlere Temperatur des Abgases im Verbindungsstück, T_{mV} , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$T_{mV} = T_u + \frac{T_W - T_u}{K_V} \cdot (1 - e^{-K_V}), \quad \text{in K} \quad (18)$$

Die Abgastemperatur an der Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage, T_e , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$T_e = T_u + (T_W - T_u) \cdot e^{-K_V}, \quad \text{in K} \quad (19)$$

Dabei ist

- K die Abkühlzahl (siehe 5.8.2);
- K_V die Abkühlzahl des Verbindungsstücks (siehe 5.8.2);
- T_e die Abgastemperatur am Eintritt des Abgases in die Abgasanlage, in K;
- T_u die Umgebungslufttemperatur (siehe 5.7.1.3), in K;
- T_W die Abgastemperatur der $\boxed{A_1}$ Verbrennungseinrichtung $\boxed{A_1}$, in K.

5.8.2 Berechnung der Abkühlzahl (K)

Der Abkühlzahl K ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$K = \frac{U \cdot k \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (20)$$

Dabei ist

- c_p die spezifische Wärmekapazität des Abgases (siehe 5.7.5), in J/(kg · K);
- k der Wärmedurchgangskoeffizient (siehe 5.8.3), in W/(m² · K);
- L die Länge der Abgasanlage, in m;
- $\dot{m}$ der Abgasmassenstrom (siehe 5.5.2), in kg/s;
- U der innere Umfang, in m.

Für die Abkühlzahl des Verbindungsstücks, K_V , sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstücks einzusetzen.

5.8.3 Wärmedurchgangskoeffizient (k_b)

5.8.3.1 Allgemeines

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, k_b , ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_a}}, \quad \text{in W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (21)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Abgasanlage für fehlende Temperaturbeharrung, k , ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \cdot \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_a}\right]}, \quad \text{in W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (22)$$

Dabei ist

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

D_{ha} der äußere hydraulische Durchmesser, in m;

S_H der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (siehe 5.7.7);

α_a der äußere Wärmeübergangskoeffizient (siehe 5.8.3.2), in W/(m² · K);

α_i der innere Wärmeübergangskoeffizient (siehe 5.8.3.2), in W/(m² · K);

$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$ der Wärmedurchlasswiderstand (siehe 5.6.3), in m² · K/W.

5.8.3.2 Innerer Wärmeübergangskoeffizient (α_i)

Der Wärmeübergangskoeffizient in der Abgasanlage, α_i , ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A \cdot Nu}{D_h}, \quad \text{in W/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad (23)$$

Dabei ist

D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;

Nu die Nusselt-Zahl;

λ_A die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in W/(m · K).

Die Wärmeleitfähigkeit λ_A des Abgases muss anhand der mittleren Abgastemperatur nach der Gleichung aus Tabelle B.1 und Tabelle B.8, berechnet werden.

Die über die Höhe, gemittelte Nusselt-Zahl Nu ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$Nu = \left(\frac{\psi}{\psi_{\text{smooth}}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re^{0,8} - 100) \cdot Pr^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{L_{\text{tot}}} \right)^{0,67} \right] \quad (24)$$

Dabei ist

- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- L_{tot} die gesamte gestreckte Länge vom Abgaseintritt in die Abgasanlage bis zur Mündung (L_{totV} ist die gesamte gestreckte Länge vom Abgasstutzen der A1 Verbrennungseinrichtung A1 bis zur Abgaseinführung in den senkrechten Teil der Abgasanlage), in m;
- Pr die Prandtl-Zahl;
- Re die Reynolds-Zahl;
- ψ die Rohrreibungszahl für hydraulisch raue Strömung (siehe 5.10.3.3);
- ψ_{smooth} die Rohrreibungszahl für hydraulisch glatte Strömung (siehe 5.10.3.3 für $r = 0$).

Die Gleichung kann für $2\,300 < Re < 10\,000\,000$, $\left(\frac{\psi}{\psi_{\text{smooth}}} \right) < 3$ sowie $0,6 < Pr < 1,5$ angewendet werden.

Für mittlere Abgasgeschwindigkeiten von $w_m < 0,5$ m/s ist die Nusselt-Zahl entsprechend $w_m = 0,5$ m/s einzusetzen.

Wenn die Reynolds-Zahl unter 2 300 liegt, so ist die Nusselt-Zahl entsprechend $Re = 2\,300$ anzunehmen.

Die Prandtl-Zahl Pr ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$Pr = \frac{\eta_A \cdot c_p}{\lambda_A} \quad (25)$$

Die Reynolds-Zahl Re ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$Re = \frac{w_m \cdot D_h \cdot \rho_m}{\eta_A} \quad (26)$$

Dabei ist

- c_p die spezifische Wärmekapazität des Abgases, in J/(kg · K);
- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- w_m die mittlere Abgasgeschwindigkeit (siehe 5.9), in m/s;
- η_A dynamische Viskosität des Abgases, in N · s/m²;
- λ_A die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in W/(m · K);
- ρ_m die mittlere Dichte des Abgases (siehe 5.9), in kg/m³.

Die dynamische Viskosität η_A ist in Abhängigkeit von der Abgastemperatur nach der Gleichung (B.10) in Tabelle B.1, zu berechnen.

Der innere Wärmeübergangskoeffizient α_i kann auch für Abgasanlagen, die für die feuchte Betriebsweise vorgesehen sind, berechnet werden, wenn die Kondensationswärme nicht berücksichtigt werden soll.