

DIN EN 13384-1

ICS 91.060.40

Ersatz für
DIN EN 13384-1:2006-03

**Abgasanlagen –
Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren –
Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte;
Deutsche Fassung EN 13384-1:2002+A2:2008**

Chimneys –
Thermal and fluid dynamic calculation methods –
Part 1: Chimneys serving one appliance;
German version EN 13384-1:2002+A2:2008

Conduits de fumée –
Méthodes de calcul thermo-aéraulique –
Partie 1: Conduits de fumée ne desservant qu'un seul appareil;
Version allemande EN 13384-1:2002+A2:2008

Gesamtumfang 99 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-1:2002+A2:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird. Das zuständige deutsche Spiegelgremium ist der Arbeitsausschuss 005-11-39 AA „Abgasanlagen“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Der Beginn und Ende eines Textes, der durch eine Änderung eingefügt oder geändert wurde, wird im Text durch die Markierungen **A1** **A1** und **A2** **A2** angezeigt.

Diese Norm enthält Festlegungen für die feuerungstechnische Bemessung von Querschnitten für Abgasanlagen. Der Begriff „Abgasanlagen“ ist ein Oberbegriff zu dem bisher in den nationalen Normen der Reihe DIN 4705 verwendeten Begriff „Schornstein“. Nach den derzeit gültigen Landesbauordnungen der Bundesländer ist eine Abgasanlage Teil einer Feuerungsanlage, welche sowohl die Feuerstätte und die Abgasanlage erfasst. Der Begriff „Abgasanlage“ umfasst als Oberbegriff alle Anlagen zum Abführen von Abgasen, Anlagen mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Schornsteine, Abgasleitungen und Luft-Abgas-Systeme sowie Verbindungsstücke usw. Um die nationale Übereinstimmung mit den Landesbauordnungen der Bundesländer herzustellen, wurde aus den genannten Gründen der Begriff „Schornstein“ nicht mehr verwendet, sondern der übergeordnete Begriff „Abgasanlage“.

DIN EN 13384-1 beinhaltet ein Berechnungsverfahren für Luft-Abgasanlagen (LAS). Damit ist es möglich, die Querschnitte der immer häufiger eingesetzten Luft-Abgasanlagen europaweit einheitlich zu berechnen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13384-1:2006-03 wurden folgende Änderungen aufgenommen:

- a) in Abschnitt 2 wurden einige Definitionen redaktionell überarbeitet und einige ergänzt;
- b) Tabelle 1 wurde erweitert;
- c) die Abschnitte 5, 6 und 7 wurden insgesamt überarbeitet.

Weitere Änderungen wurden mit den Kennzeichen **A2** **A2** dargestellt.

Frühere Ausgaben

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

Deutsche Fassung

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

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

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 23. Oktober 2002 angenommen und schließt Corrigendum 1 ein, das am 17. Dezember 2003 vom CEN veröffentlicht wurde, sowie Änderung 1 ein, die am 19. September 2005 vom CEN angenommen wurde und Änderung 2, die am 24. Februar 2008 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 Management-Zentrum des CEN 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B- 1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	9
5 A1 Berechnungsverfahren für Nicht-LAS-Abgasanlagen A1	12
5.1 Allgemeine Grundsätze	12
5.2 Druckbedingung	13
5.3 Temperaturbedingung	15
5.4 Berechnungsgang	15
5.5 Charakteristische Abgaswerte für die Feuerstätte A1 gestrichener Text A1	16
5.6 Bauartkennwerte	18
5.7 Grundwerte für die Berechnung	19
5.8 Ermittlung der Temperaturen	23
5.9 Ermittlung der Dichte des Abgases und der Abgasgeschwindigkeit	27
5.10 Berechnung der Drücke	28
5.11 A2 Notwendiger und zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Ze} und P_{Zemax}) sowie maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{ZOe} und P_{ZOemin}) A2	31
5.12 Berechnung der Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage (T_{iob})	35
6 Nebenluft für Unterdruck-Abgasanlagen	37
6.1 Allgemeines	37
6.2 Berechnungsgang	37
6.3 Grundwerte für die Nebenluftberechnung	37
6.4 Druckberechnung	39
6.5 Temperaturbedingung für die Nebenluft	42
7 A1 Berechnungsverfahren für Luft-Abgasanlagen	42
7.1 Allgemeine Grundsätze	42
7.2 Druckbedingung	43
7.3 Temperaturbedingung	44
7.4 Berechnungsgang	44
7.5 Abgaskennwerte der Feuerstätte	44
7.6 Kennwerte für die Berechnung	44
7.7 Grundwerte der Berechnung	44
7.8 Ermittlung der Temperaturwerte	46
7.9 Ermittlung der Dichte und der Geschwindigkeit	67
7.10 Ermittlung der Drücke	68
7.11 A2 Notwendiger und zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Ze} und P_{Zemax}) sowie maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{ZOe} und P_{ZOemin}) A2	68
7.12 Ermittlung der Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage (T_{iob})	72
8 Berücksichtigung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas	73
8.1 Allgemeines	73
8.2 Beginn der Kondensation	73
8.3 Berechnung der Abgastemperatur am Auslass des Abschnittes ($j \geq N_{segK}$) der Abgasanlage mit Kondensation	76

Anhang A (informativ) Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes	82
Anhang B (informativ) Tabellen	83
Anhang C (informativ) Einfluss der Mündung von Abgasanlagen auf benachbarte Gebäude	94
Anhang D (informativ) Grenzkurven für die Klassifikation der Nebenluftvorrichtungen	95
Anhang E (informativ) A) Bestimmung der Gaskonstante R unter Berücksichtigung von Kondensation	96
Literaturhinweise	97

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-1:2002+A2:2008) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2008 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument beinhaltet die Berichtigung 1, die von CEN am 2003-12-17 herausgegeben wurde, die Änderung 1, die von CEN am 2005-09-19 angenommen wurde, und Änderung 2, die von CEN am 2008-02-24 angenommen wurde.

Dieses Dokument ersetzt EN 13384-1:2002.

Der Beginn und Ende eines Textes, der durch eine Änderung eingefügt oder geändert wurde, wird im Text durch die Markierungen **A1** **A1** und **A2** **A2** angezeigt.

Die Änderungen nach der zugehörigen CEN Berichtigung wurden an den entsprechenden Stellen im Text eingearbeitet und werden durch die Markierungen **AC** **AC** angezeigt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

Die Anhänge A, B, C, D, und E sind informativ.

Diese Europäische Normenreihe *Abgasanlagen — Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren* besteht aus **A1** drei **A1** Teilen:

- *Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte*
- *Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstättenanschlüssen und einem Anschluss mit mehreren Feuerstätten*
- **A1** *Teil 3: Verfahren zur Entwicklung von Diagrammen und Tabellen für Abgasanlagen mit einer Feuerstätte* **A1**

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

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren von Abgasanlagen mit einer Feuerstätte fest.

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

Das Berechnungsverfahren dieser Norm gilt für Abgasanlagen mit einem Anschluss für eine Feuerstätte. Das Berechnungsverfahren nach Teil 2 dieser Europäischen Norm gilt dagegen für Abgasanlagen mit mehreren Anschlüssen und für einen Anschluss mit mehreren Feuerstätten. ^[A1] Teil 3 beschreibt Verfahren zur Entwicklung von Diagrammen und Tabellen für Abgasanlagen mit einer Feuerstätte. ^[A1]

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

^[A2] EN 1443:2003 ^[A2], *Abgasanlagen — Allgemeine Anforderungen*

^[A1] EN 1856-1 ^[A1], *Abgasanlagen — Anforderungen an Metallabgasanlagen — Teil 1: Bauteile für System-Abgasanlagen*

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

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

^[E2] CEN/TR 1749, *Europäischer Leitfaden für die Klassifizierung von Gasgeräten nach der Art der Abgasabführung (Arten)* ^[A2]

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokument gelten die Begriffe nach ^[A2] EN 1443:2003 ^[A2] und die folgenden Begriffe.

3.1

Wärmeleistung (Q)

an den Wärmetauscher übertragene Wärmemenge in der Zeiteinheit

3.1.1

Nennwärmeleistung (Q_N)

vom Hersteller abhängig von der Art des Brennstoffes festgelegte Dauerleistung der Feuerstätte

3.1.2

Wärmeleistungsbereich

vom Hersteller, unterhalb der Nennwärmeleistung festgelegter Bereich, in dem die Feuerstätte eingesetzt werden kann

3.2

Feuerungswärmeleistung (Q_F)

der Feuerstätte in der Zeiteinheit vom Brennstoff zugeführte Wärmemenge, basierend auf den Netto-Heizwert H_u

3.3

Wirkungsgrad der Feuerstätte (η_w)

Verhältnis der abgegebenen nutzbaren Wärmeleistung (Q) der Feuerstätte zur Feuerungswärmeleistung (Q_F)

3.4

Abgasmassenstrom ($\dot{m}$)

Masse der Abgase, welche die Feuerstätte durch das Verbindungsstück in der Zeiteinheit verlassen

3.5

wirksame Schornsteinhöhe (H)

Höhenunterschied zwischen der Achse der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage und der Ausmündung

3.6

wirksame Höhe des Verbindungsstückes (H_v)

Höhenunterschied zwischen der Achse des Abgasstutzens der Feuerstätte und der Achse der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage.

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 Unterdruckes in der Abgasanlage

3.8

Ruhedruck (P_H)

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

3.9

Widerstandsdruck des senkrechten Abschnitts der Abgasanlage (P_R)

Druck, der erforderlich ist, um die Strömungswiderstände für den Abgasmassenstrom im senkrechten Abschnitt 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 Abschnitt 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 Abschnitt der Abgasanlage (P_{zmax})

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

3.13

notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte (P_w)

Differenz zwischen dem Luftdruck im Aufstellungsraum der Feuerstätte und dem Unterdruck des Abgases am Abgasstutzen der Feuerstätte, welcher notwendig ist, um einen einwandfreien Betrieb der Feuerstätte sicherzustellen

3.14

zulässiger Unterdruck an der Feuerstätte (P_{wmax})

Differenz zwischen dem statischen Luftdruck im Aufstellungsraum der Feuerstätte und dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Feuerstätte, welche maximal zulässig ist, um einen einwandfreien Betrieb der Feuerstätte beizubehalten

3.15

notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück (P_{FV})

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

3.16

notwendiger Förderdruck für die Zuluft (P_B)

Differenz zwischen dem Luftdruck im Freien und dem Luftdruck im Aufstellungsraum der Feuerstätte in gleicher Höhe

3.17

notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage (P_{Ze})

Summe des notwendigen Förderdruckes für die Feuerstätte, des notwendigen Förderdruckes für das Verbindungsstück und des notwendigen Förderdruckes für die Zuluft

A2 3.18

zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Zemax})

Summe des zulässigen Unterdrucks an der Feuerstätte, des notwendigen Förderdruckes für das Verbindungsstück und des notwendigen Förderdruckes für die Zuluft **A2**

3.19

A2 maximaler **A2 Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Zo})**

A2 Summe der Differenz aus dem maximalen Widerstandsdruck, dem minimalen Ruhedruck des senkrechten Abschnitts der Abgasanlage und dem Winddruck **A2**

A2 3.20

minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Zomin})

Differenz aus dem minimalen Widerstandsdruck und dem maximalen Ruhedruck der Abgasanlage **A2**

3.21

zur Verfügung stehender Förderdruck der Feuerstätte (P_{wo})

maximal zulässiger Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Feuerstätte und dem statischen Luftdruck an der Zuluftzuführung der Feuerstätte, die für den ordnungsgemäßen Betrieb der Feuerstätte vorgesehen ist

A2 3.22

erforderlicher Überdruck an der Feuerstätte ($P_{wo\min}$)

minimal zulässiger Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen der Feuerstätte und dem statischen Luftdruck an der Zuluftzuführung der Feuerstätte, der für den ordnungsgemäßen Betrieb der Feuerstätte vorgesehen ist. Dieser minimale Druckunterschied kann einen negativen Wert haben. **A2**

3.23

maximal nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{Zoe})

Differenz zwischen dem zur Verfügung stehenden Förderdruck der Feuerstätte, 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

A2 3.25

minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (P_{ZOemin})

Differenz zwischen dem erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte und der Summe aus dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft **A2**

3.26

Nebenluftvorrichtung

Abgasklappe oder Strömungssicherung

3.27

Zugbegrenzer

Vorrichtung, die automatisch der Abgasanlage, dem Verbindungsstück oder der Feuerstätte Umgebungsluft zuführt

3.28

Strömungssicherung

Einrichtung, die im Abgasweg einer Feuerstätte 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

A) 3.30

Luft-Abgas-System

System von konzentrisch oder nicht-konzentrisch angeordneten Leitungen zur Zuführung der Verbrennungsluft von der Außenluft zur Feuerstätte und Abführung der Verbrennungsprodukte an die Außenluft

3.31

Zuluftleitung

Bauteil oder Bauteile, (das) die parallel zur Abgasanlage geführt werden (wird) (daneben stehend oder konzentrisch), welche(s) die Verbrennungsluft von der Außenluft zur Einführungsstelle der Zuluftleitung zur Feuerstätte führt (führen).

3.32

Luft-Abgasanlage

Abgasanlage, bei der, der Ort für den Eintritt der Zuluft in die Zuluftleitung neben dem Ort für den Auslass zur Abführung der Verbrennungsprodukte liegt. Dabei sind Einlass und Auslass so anzuordnen, dass Windverhältnisse die Verbrennungsluftansaugung nicht ungünstig beeinflussen

3.33

Abschnitt der Abgasanlage

Ein zu Berechnungszwecken eingeteilter Abschnitt der Abgasanlage

3.34

Kondensat-Massenstrom ($\Delta \dot{m}_D$)

Masse des Wasserdampfes, die sich durch Kondensationsvorgänge in der Feuerstätte, dem Verbindungsstück oder der Abgasleitung/dem Schornstein in der Zeiteinheit ergibt

3.35

Zuluftleitung

Bauteil oder Bauteile, welche(s) den Auslass der Zuluftleitung mit der raumluftunabhängigen Feuerstätte verbindet bzw. verbinden

3.36

Kondensationsfaktor

Anteil des theoretisch höchstens auftretenden Kondensatmassenstromes, der in der Berechnung verwendet wird **A1**

4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

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

Tabelle 1 — Formelzeichen, Benennungen und Einheiten

Formelzeichen	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
H	wirksame Höhe des senkrechten Abschnitts der Abgasanlage	m
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
K	Abkühlzahl	
L	Länge	m
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom	kg/s
Nu	Nusselt-Zahl	
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 Abschnitt der Abgasanlage	Pa
P_{FV}	notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	Pa
P_G	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im senkrechten Abschnitt 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 Abschnitt der Abgasanlage	Pa
P_{RV}	Widerstandsdruck für das Verbindungsstück	Pa
P_W	notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte	Pa
$\sqrt{A_2} P_{W\max}$	zulässiger Unterdruck an der Feuerstätte	$\text{Pa} \sqrt{A_2}$
P_{WO}	zur Verfügung stehender Förderdruck der Feuerstätte	Pa
$\sqrt{A_2} P_{W\text{Omin}}$	erforderlicher Überdruck an der Feuerstätte	$\text{Pa} \sqrt{A_2}$
P_Z	$\sqrt{A_2}$ minimaler $\sqrt{A_2}$ Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
$\overline{A_2} P_{Z\max}$	maximaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa $\overline{A_2}$
P_{Ze}	notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa
$\overline{A_2} P_{Z\max}$	zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa $\overline{A_2}$
P_{ZO}	$\overline{A_2}$ maximaler $\overline{A_2}$ Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa
$\overline{A_2} P_{ZO\min}$	minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa $\overline{A_2}$
P_{ZOe}	maximal nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa
$\overline{A_2} P_{ZO\min}$	erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage	Pa $\overline{A_2}$
Pr	Prandtl-Zahl	
$\overline{A_1} q_C$	Wärmestrom vom Abgas auf die Außenschale	W $\overline{A_1}$
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	lichte Weite	m
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl	--
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	--
t	Temperatur	°C
T	absolute Temperatur	K
T_g	Grenztemperatur	K
T_{io}	Innenwand-Temperatur an der Mündung	K
T_{iob}	Innenwand-Temperatur an der Mündung für Temperaturbeharrung	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 Heizraumes	K
T_{uh}	Umgebungstemperatur für beheizte Bereiche	K
T_{ul}	Umgebungstemperatur für Bereiche außerhalb eines Gebäudes	K

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
T_{uo}	Umgebungstemperatur für Außenbereiche	K
T_{uu}	Umgebungstemperatur für unbeheizte Bereiche innerhalb eines Gebäudes	K
T_W	Abgastemperatur der Feuerstätte	K
T_{WN}	Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung	K
T_{Wnmi}	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	geodätische Höhe	m
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² ·K)
β	Verhältnis der Massenströme Verbrennungsluft zu Abgas	--
γ	Winkel bei Richtungsänderungen	°
δ	Wangendicke	m
ζ	Einzelwiderstandszahl für Umlenkungen und/oder Querschnittsänderungen und/oder Änderungen des Abgas massenstroms	--
η	dynamische Viskosität	Ns/m ²
η_W	Wirkungsgrad der Feuerstätte	--
η_{WN}	Wirkungsgrad der Feuerstätte 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 Wasserdampf	%
σ_{RAD}	Strahlung des schwarzen Körpers	W/(m ² · K ⁴) $\left(\frac{\text{A}_1}{\text{A}_2}\right)$
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	Zuluft	--
e	Eintritt	--
G	Geschwindigkeitsänderung	--
i	Innenseite	--
L	Außenluft	--
m	Mittelwert	--
M	Mischung	--
n	laufender Index	--
N	Nennwert	--
NL	Nebenluft	--
o	Austritt	--
O	Überdruck	--
Tot	Insgesamt für alle Querschnitt (abschnitte)	--
u	Umgebungsluft	--
V	Verbindungsstück	--
W	Feuerstätte	--

5 Berechnungsverfahren für Nicht-LAS-Abgasanlagen

5.1 Allgemeine Grundsätze

 Die Berechnung der Innenabmessungen (Querschnitt) von Unterdruck-Abgasanlagen basiert auf den folgenden vier Kriterien:

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

Die Berechnung der Innenabmessungen (Querschnitt) von Überdruck-Abgasanlagen basiert auf den folgenden vier Kriterien:

- der maximale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage muss gleich oder kleiner sein als der maximal nutzbare Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage;
- der maximale Überdruck im Verbindungsstück und im senkrechten Abschnitt der Abgasanlage darf nicht größer sein als der maximal zulässige Überdruck, für den beide gekennzeichnet sind;
- der minimale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage muss gleich oder größer sein als der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt 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-Feuerstätte oder einen erforderlichen Überdruck für die Überdruck-Feuerstätte gibt.

Die Kriterien werden durch zwei Arten von Umgebungsbedingungen verifiziert:

- 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 und der Innenwandtemperatur erfolgt unter Bedingungen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Abgasanlage maximal ist (d. h. bei niedriger Außentemperatur). ^{A2}

5.2 Druckbedingung

5.2.1 Unterdruckabgasanlage

Folgende Bedingungen sind einzuhalten:

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

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

$$\supset A2 P_{Zmax} = P_H - P_R \leq P_{Wmax} + P_{FV} + P_B = P_{Ze max} \quad \text{in Pa} \quad (2a) \supset A2$$

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 Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;
- $\supset A2 P_{Wmax}$ der zulässige Unterdruck an der Feuerstätte, in Pa;

P_W	der notwendige Förderdruck für die Feuerstätte, in Pa;
P_Z	der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (siehe 5.10), in Pa;
P_{Zmax}	der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;
P_{Ze}	der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage (siehe 5.11), in Pa;
P_{Zemax}	der zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa. $\langle A_2 \rangle$

$\langle A_2 \rangle$ ANMERKUNG Die Werte für P_H und P_R in den Gleichungen (1) und (2a) unterscheiden sich im Allgemeinen, weil unterschiedliche Bedingungen vorliegen. $\langle A_2 \rangle$

5.2.2 Überdruckabgasanlage

Folgende Bedingungen sind einzuhalten:

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

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

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

$$\langle A_2 \rangle P_{ZOmin} = P_R - P_H \geq P_{WOmin} - P_B - P_{FV} = P_{ZOemin} \quad \text{in Pa} \quad (5a) \langle A_2 \rangle$$

Dabei ist

$\langle A_2 \rangle P_B$	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; $\langle A_2 \rangle$
P_R	der Widerstandsdruck in der Abgasanlage, in Pa.
P_{WO}	der zur Verfügung stehende Förderdruck der Feuerstätte, in Pa;
$\langle A_2 \rangle P_{WOmin}$	der erforderliche Überdruck an der Feuerstätte, in Pa;
P_{ZO}	maximale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;
P_{ZOmin}	der minimale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa; $\langle A_2 \rangle$
P_{Zoe}	der maximale Differenzdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage, in Pa;
$\langle A_2 \rangle P_{ZOemin}$	der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa; $\langle A_2 \rangle$
$P_{Z \text{ excess}}$	der höchste zulässige Auslegungsdruck der Abgasanlage, in Pa;
$\langle A_2 \rangle P_{ZV \text{ excess}}$	der maximal zulässige Überdruck entsprechend der Kennzeichnung des Verbindungsstücks, in Pa. $\langle A_2 \rangle$

$\langle A_2 \rangle$ ANMERKUNG Die Werte für P_H und P_R in den Gleichungen (3) und (5a) unterscheiden sich im Allgemeinen, weil unterschiedliche Bedingungen vorliegen. $\langle A_2 \rangle$

5.3 Temperaturbedingung

Folgende Beziehungen sind nachzuweisen:

$$T_{\text{ioib}} \geq T_g \quad \text{in K} \quad (6)$$

Dabei ist

T_{ioib} die Innenwandtemperatur an der Mündung bei Beharrung, in K;

T_g die Grenztemperatur, in K.

Bei Abgasanlagen deren freies Ende über Dach eine Wärmedämmung aufweisen, ist zusätzlich folgende Bedingung einzuhalten:

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

Dabei ist

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

Die Grenztemperatur T_g der Innenwand von Abgasanlagen für trockene Betriebsweise ist die Taupunkttemperatur T_{sp} des Abgases (siehe 5.7.6).

Im Falle von Abgasanlagen für feuchte Betriebsweise ist $T_g = 273,15$ K. 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 ist nicht erforderlich, wenn der Wert des Wärmedurchlasswiderstandes der zusätzlichen Wärmedämmung $0,1 \text{ (m}^2 \cdot \text{K/W)}$ nicht übersteigt.

Bei Abgasanlagen für feuchte Betriebsweise ist der Vergleich dann nicht erforderlich, wenn der Wert der Umgebungslufttemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Dämmung ≥ 0 °C ist.

5.4 Berechnungsgang

Für die Berechnung der Druck- und Temperaturwerte nach den Beziehungen (1), (2), $\overline{A_2}$ (2a), $\overline{A_2}$ (3), (4), (5), $\overline{A_2}$ (5a) $\overline{A_2}$ und (6) müssen die Werte für das Abgaswerte-Triple der Feuerstätte nach 5.5 ermittelt werden. Für den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage und deren Verbindungsstück sind auch die Daten nach 5.6 zu ermitteln. $\overline{A_1}$ Für neu zu errichtende Abgasanlagen sollte für die Größe des Innenrohres ein vorgeschätzter Wert eingesetzt werden. $\overline{A_1}$

In 5.7 bis 5.11 werden die Berechnungen beschrieben, die notwendig sind, um die thermischen und strömungstechnischen Eigenschaften der Abgasanlage zu erhalten. Die Gleichungen in 5.7 geben die Basisdaten, die für weitere Berechnungen notwendig sind, an.

Die Gleichungen in $\overline{A_1}$ 5.5.3 $\overline{A_1}$ und 5.8 geben die Berechnung der maßgeblichen Temperaturen an. Die Gleichungen für die Dichte des Abgases und seine Geschwindigkeit sind in 5.9 zusammengestellt.

Mit den Gleichungen in 5.10 und 5.11 muss die Druckbedingung überprüft werden. Mit den Gleichungen in 5.12 wird die Temperaturbedingung überprüft.

Die Überprüfung der Druck- und Temperaturbedingung muss zweifach erfolgen:

- für die Nennwärmeleistung der Feuerstätte,
- für den niedrigsten Wert des Wärmeleistungsbereichs, der vom Hersteller der Feuerstätte angegeben ist.

A2 Wenn die Druckbedingung für den maximalen Unterdruck (2a) oder die Temperaturbedingungen (6) und (7) von Unterdruck-Abgasanlagen nicht erfüllt sind, kann versucht werden, das gewünschte Ergebnis durch Berücksichtigung einer Zumischung von Nebenluft in das Abgas nach Abschnitt 6 zu erreichen. **A2**

A1 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 Feuerstätte < 30 kW, und
- der Abgasverlust der Feuerstätte beträgt mindestens 8 %, und
- die Feuerstätte ist mit einer Strömungssicherung ausgestattet, die während Stillstandsbetrieb oder im Betrieb mit kleinen Leistungen ausreichende Belüftung in der Abgasanlage sicherstellt. Dies kann dadurch sichergestellt werden, dass die Leistung der Feuerstätte überdimensioniert wird. **A1**

5.5 Charakteristische Abgaswerte für die Feuerstätte **A1** gestrichener Text **A1**

5.5.1 Allgemeines

Für die Berechnung der Temperatur- und Druckwerte muss das erforderliche Abgaswerte — Triple der Feuerstätte, bestehend aus dem Abgasmassenstrom, der Abgastemperatur und dem notwendigen Förderdruck, oder dem zur Verfügung stehenden Förderdruck ermittelt werden. Zusätzlich müssen die Art des Brennstoffs, die Volumenkonzentration an CO₂ im Abgas und die geometrischen Abmessungen des Verbindungsstückes angegeben werden.

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

Typische Daten für einige Feuerstätten sind in den Tabellen B.2 und B.3 angegeben.

5.5.2 Abgasmassenstrom

5.5.2.1 Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung der Feuerstätte

Zur Berechnung der Druck- und Temperaturwerte nach den Gleichungen (1), (2), **A2** (2a), **A2** (3), (4), (5), **A2** (5a) **A2** und (6) muss der Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung der Feuerstätte ermittelt werden.

Liegen keine Herstellerwerte für den Abgasmassenstrom und die Volumenkonzentration an CO₂ vor, können diese Werte nach den Gleichungen in den Tabellen B.1, B.2 und B.3 ermittelt werden.

Ist an die Abgasanlage eine Wechselbrennstoff-Feuerstätte angeschlossen, sind in der Berechnung und der Querschnittsbemessung alle in Frage kommenden Brennstoffe zu berücksichtigen.

Bei Feuerstätten mit Strömungssicherung ist der Abgasmassenstrom nach der Strömungssicherung zu berücksichtigen.

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

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

Dabei ist

f_{mf} der Abgasmassenstrom eines offenen Kamins, in kg/(s · m²);

A_F der Querschnitt der Öffnung eines offenen Kamins, in m².

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 angenommen werden zu $\sigma(\text{CO}_2) = 1 \%$.

5.5.2.2 Abgasmassenstrom bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung

Wird die Feuerstätte planmäßig modulierend betrieben, müssen die Druck- und Temperaturbedingungen zusätzlich bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung überprüft werden. Liegen keine Herstellerwerte bei kleinsten möglicher Wärmeleistung vor, ist der Abgasmassenstrom mit 1/3 des Wertes bei Nennwärmeleistung zu verwenden.

5.5.2.3 Abgasmassenstrom beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage muss der Abgasmassenstrom beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte vom Hersteller der Feuerstätte 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 Feuerstätte und im senkrechten Abschnitt der Abgasanlage oder im Verbindungsstück erfolgen.

5.5.3 Abgastemperatur

5.5.3.1 Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung (T_{WN})

Die Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung T_{WN} muss vom Hersteller der Feuerstätte angegeben werden. Wenn die Feuerstätte 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 beschrieben, sind diese Werte für die Berechnung zu verwenden.

Wenn die Abgastemperatur T_{WN} für offene Kamine nicht bekannt ist, sollte ein Wert von $t_{WN} = 80 \text{ °C}$ ($T_{WN} = 353,15 \text{ K}$) 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 Feuerstätte angegeben werden. Wenn dieser Wert nicht verfügbar ist, sollte die Abgastemperatur in $^{\circ}\text{C}$ mit 2/3 des Wertes der Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung verwendet werden.

5.5.3.3 Abgastemperatur beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage muss die Abgastemperatur beim zulässigen Unterdruck oder beim erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte vom Hersteller der Feuerstätte angegeben werden, falls zutreffend. 

5.5.4 Notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte (P_W) für Unterdruckabgasanlagen

Bei der Berechnung muss bei Unterdruckabgasanlagen der notwendige Förderdruck für die Feuerstätte P_W vom Hersteller der Feuerstätte angegeben werden.

Liegen keine Werte vor, so sind die Werte für den notwendigen Förderdruck für die Feuerstätte aus den Produktnormen der entsprechenden Feuerstätten zu entnehmen. Sind keine Daten für die Feuerstätte verfügbar, siehe Tabelle B.2.

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

Wenn für Gasfeuerstätten des Typs B₁ nach A2 CEN/TR 1749 A2 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 Feuerstätte und für den Abgassammler sollte vernachlässigt werden. Der im Abgassammler auftretende Strömungswiderstand wird durch den Wert der strömungstechnischen Sicherheitszahl 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 die strömungstechnische Sicherheitszahl;

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 A2 Zulässiger Unterdruck an der Feuerstätte ($P_{W\max}$) für Unterdruck-Abgasanlagen

Zur Berechnung für Unterdruck-Abgasanlagen muss der Wert für den zulässigen Unterdruck an der Feuerstätte $P_{W\max}$ vom Hersteller der Feuerstätte angegeben werden, falls zutreffend. A2

5.5.6 Zur Verfügung stehender Förderdruck der Feuerstätte (P_{W0}) für eine Überdruckabgasanlage

Der für die Berechnung einer Überdruckabgasanlage benötigte zur Verfügung stehende Förderdruck der Feuerstätte P_{W0} ist vom Hersteller der Feuerstätte anzugeben.

5.6 Bauartkennwerte

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 Abschnitt der Abgasanlage zu ermitteln.

5.6.2 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 System-Abgasanlage ist den Produktangaben des Herstellers zu entnehmen.

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

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

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

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

Dabei ist

D_h der hydraulische Durchmesser, in m;

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

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

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

5.7 Grundwerte für die Berechnung

5.7.1 Lufttemperatur

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 angenommen zu

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

Andere Werte für T_L können auf der Grundlage akzeptierter nationaler Daten 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

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

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

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

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

— bei Abgasanlagen ⓘ gestrichener Text ⓘ mit belüfteten Luftschächten und Strömungsrichtung der Luft entsprechend der des Abgases:

$T_{uo} = 258,15 \text{ K } (t_{uo} = -15 \text{ °C})$ für Abgasanlagen für 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 trockene und feuchte Betriebsweise, deren Höhe in 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

~~A1~~ gestrichener Text ~~A1~~

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

Abgasanlagen, die in Sektoren mit unterschiedlichen Umgebungslufttemperaturen angeordnet sind, sollen entweder abschnittsweise mit derselben Umgebungslufttemperatur berechnet werden, oder die Umgebungslufttemperatur kann für die Berechnung entsprechend den Flächenanteilen 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 Umgebungstemperatur an der Mündung der Abgasanlage, in K;

T_{ub} die Umgebungstemperatur im Aufstellraum der Feuerstätte, in K;

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

T_{ul} die Umgebungstemperatur 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 Aufstellraum der Feuerstätte, in m²;

A_{uh} die äußere Oberfläche der Abgasanlage in beheizten Bereichen, in m²;

A_{ul} die äußere Oberfläche der Abgasanlage außerhalb des Gebäudes, in m²;

A_{uu} die äußere Oberfläche der Abgasanlage in nicht beheizten Bereichen im Gebäude, in m².

ANMERKUNG Wenn die Teile der äußeren Oberfläche außerhalb des Gebäudes und in unbeheizten Bereichen nicht mehr als ¼ der gesamten Oberfläche der Abgasanlage ausmachen, so kann die Umgebungstemperatur T_u mit 288,15 K ($t_u = 15 \text{ °C}$) angenommen werden.

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

Wenn bei Abgasanlagen mit belüfteten Luftschächten und Strömungsrichtung der Luft entgegen der des Abgases die Länge des Teiles der Abgasanlage im Außenbereich und im nicht beheizten Gebäudebereich 5 m nicht übersteigt, darf die Umgebungslufttemperatur T_u zu 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 Formel zu ermitteln:

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

Dabei ist

- g die Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²;
- R_L die Gaskonstante der Luft, in J/(kg·K);
- T_L die Außenlufttemperatur, in K;
- z die geodätische Höhe, 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 beträgt 288 J/(kg·K) (bei einer relativen Luftfeuchte $\alpha(\text{H}_2\text{O})$ von 1,1 % Volumenanteil).

5.7.3.2 Gaskonstante des Abgases (R)

Die Gaskonstante des Abgases R wird nach den Gleichungen der Tabellen B.1 und B.3 bestimmt.

5.7.4 Dichte der Außenluft (ρ_L)

Die Dichte der Außenluft ρ_L errechnet sich aus

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

Dabei ist

- p_L der Außenluftdruck, in Pa;
- R_L die Gaskonstante der Luft, in J/(kg·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 den Tabellen B.1 und B.4 zu berechnen.

5.7.6 Taupunkttemperatur (T_{sp})

Für Gas und Heizöl EL ist die Taupunkttemperatur T_{sp} des Abgases der Wasserdampftaupunkt T_p .

In diesem Falle ist:

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

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

Für Kohle, Schweröl und Holz, ist die Taupunkttemperatur des Abgases gleich dem Säuretaupunkt T_{sp} .

In diesem Falle ist:

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

A2 Der Anstieg im Taupunkt durch das Schwefeltrioxid im Abgas (ΔT_{sp}) **A2** 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_1) notwendig. Als Anhaltspunkt kann davon ausgegangen werden, dass die Volumenkonzentration an Schwefeltrioxid (SO_3) etwa 2 % des Schwefeldioxids (SO_2) beträgt. Für Holz ist der Anstieg der Taupunkttemperatur (ΔT_{sp}) durch Säure mit 15 K zu berücksichtigen.

$$\Delta T_{sp} = 15 \text{ K}$$

5.7.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (S_H)

A2 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. **A2**

5.7.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl (S_E)

A2 Zur Berechnung des minimalen Unterdrucks von Unterdruck-Abgasanlagen ist eine strömungstechnische Sicherheitszahl von $S_E = 1,5$ anzuwenden; wenn es sich allerdings um genau in ihrer Funktion überwachte Feuerstätten und Abgasanlagen sowie raumluftunabhängige Feuerstätten mit Gebläsebrenner handelt, ist ein Wert von 1,2 anzusetzen.

Zur Berechnung des maximalen Überdrucks von Überdruck-Abgasanlagen muss die strömungstechnische Sicherheitszahl S_E ein Mindestwert von 1,2 sein.

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder des minimalen Überdrucks muss die strömungstechnische Sicherheitszahl $S_E = 1$ sein. **A2**

5.8 Ermittlung der Temperaturen

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 errechnet sich aus folgender Gleichung:

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

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 Abschnitt der Abgasanlage T_e errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

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

Dabei ist

- K die Abkühlzahl (siehe 5.8.2);
- K_V die Abkühlzahl des Verbindungsstückes (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 Feuerstätte, in K.

5.8.2 Berechnung der Abkühlzahl

Der Abkühlzahl K errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

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

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 des senkrechten Abschnitts der Abgasanlage, in m;
- $\dot{m}$ der Abgasmassenstrom (siehe 5.5.2), in kg/s;
- U der innere Umfang, in m.

Für die Abkühlzahl K_V des Verbindungsstückes sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes 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 5.8.3.3), 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 Wärmeübergangskoeffizient, innen (α_i)

Der Wärmeübergangskoeffizient in der Abgasanlage α_i errechnet sich aus der folgenden Gleichung:

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

Dabei ist

- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- Nu die Nusselt-Zahl;
- λ_A der Wärmeleitkoeffizient des Abgases, in W/(m·K).

Der Wärmeleitkoeffizient des Abgases λ_A ist von der mittleren Abgastemperatur abhängig und wird nach der Gleichung (B.9), Tabelle B.1, berechnet.

Die über die Höhe gemittelte Nusselt-Zahl Nu ergibt sich aus folgender Gleichung:

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

Dabei ist

- D_h der innere hydraulische Durchmesser, in m;
- L_{tot} die gesamte gestreckte Länge vom Abgaseintritt in die Schornsteinanlage bis zur Mündung (L_{tot} ist die gesamte gestreckte Länge vom Abgasstutzen der Feuerstätte bis zur Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt 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 $2\,300 < Re < 10\,000\,000$ und $\left(\frac{\psi}{\psi_{\text{smooth}}} \right) < 3$ sowie $0,6 < Pr < 1,5$ angewendet werden.

Für die mittlere Abgasgeschwindigkeit $w_m < 0,5$ m/s ist die Nusselt-Zahl für $w_m = 0,5$ m/s anzunehmen. Wenn die Reynolds-Zahl unter 2 300 liegt, so ist die Nusselt-Zahl mit $Re = 2\,300$ anzunehmen.

Die Prandtl-Zahl Pr ergibt sich aus der Gleichung:

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

Die Reynolds-Zahl Re ergibt sich aus der Gleichung:

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

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 die dynamische Viskosität, in (N·s)/m²;
- λ_A die Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in W/(m·K);
- ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m³.

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

Der innere Wärmeübergangskoeffizient α_i kann auch für Abgasanlagen, die für feuchte Betriebsweise vorgesehen sind, wie angegeben berechnet werden, wenn Kondensationswärmegewinne unberücksichtigt bleiben.

5.8.3.3 Wärmeübergangskoeffizient, außen (α_a)

Der äußere Wärmeübergangskoeffizient α_a ist für innen liegende Verbindungsstücke und Abgasanlagen mit $\alpha_a = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; für freiliegende Verbindungsstücke und freistehende Abgasanlagen mit $\alpha_a = 23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einzusetzen.

Für teilweise im Freien liegende Verbindungsstücke oder teilweise freistehende Abgasanlagen ist der Wärmeübergangskoeffizient α_a zu interpolieren.

Für Abgasanlagen im Freien mit Verkleidungen, die eine Luftschichtdicke von mindestens 1 cm und höchstens 5 cm ausbilden, ist mit dem äußeren Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_a = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu rechnen.

Für hinterlüftete Abgasanlagen (einschließlich Abgasanlagen, die durch ein zusätzliches Innenrohr saniert wurden) ist der Wert von $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anzunehmen. Für Abgasanlagen mit ruhenden Luftschichten, deren Länge im Freien $\leq 3 D_h$ beträgt, ist ein Wert von $8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, in allen anderen Fällen $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einzusetzen.

5.9 Ermittlung der Dichte des Abgases und der Abgasgeschwindigkeit

5.9.1 Dichte des Abgases (ρ_m)

Die mittlere Dichte des Abgases ρ_m ist nach der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$\rho_m = \frac{p_L}{R \cdot T_m} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (27)$$

Dabei ist

p_L der Außenluftdruck (siehe 5.7.2), in Pa;

R die Gaskonstante des Abgases (siehe 5.7.3.2), in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

T_m die mittlere Temperatur des Abgases (siehe 5.8.1), in K.

Für die mittlere Dichte des Abgases ρ_{mV} im Verbindungsstück sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes einzusetzen.

5.9.2 Abgasgeschwindigkeit (w_m)

Die mittlere Abgasgeschwindigkeit w_m lässt sich aus der folgenden Gleichung errechnen:

$$w_m = \frac{\dot{m}}{A \cdot \rho_m} \quad \text{in m/s} \quad (28)$$

Dabei ist

A die lichte Querschnittsfläche, in m^2 ;

$\dot{m}$ der Abgasmassenstrom (siehe 5.5.1), in kg/s ;

ρ_m die mittlere Dichte des Abgases, in kg/m^3 .

Für die mittlere Abgasgeschwindigkeit w_{mV} im Verbindungsstück sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes einzusetzen.

5.10 Berechnung der Drücke

5.10.1 Druck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage

5.10.1.1 Unterdruck an der Abgaseinführung in die Unterdruck-Abgasanlage (P_Z ^{A2} und P_{Zmax} ^{A2})

^{A2} Der minimale und maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt einer Unterdruck-Abgasanlage P_Z und P_{Zmax} sind in erster Linie abhängig vom Abgasmassenstrom und von der Abgastemperatur, von der wirksamen Abgasanlagenhöhe, vom Querschnitt und von den maßgebenden Bauartkennwerten (Rauigkeit und Wärmedurchlasswiderstand) der Abgasanlage.

Der minimale und maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage P_Z und P_{Zmax} sind nach den folgenden Gleichungen zu berechnen: ^{A2}

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \quad \text{in Pa} \quad (29)$$

$$\supset P_{Zmax} = P_H - P_R \quad \text{in Pa} \quad (29a) \supset$$

Dabei ist

P_H der Ruhedruck für den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;

P_L der Winddruck, in Pa;

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

^{A2} P_Z der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;

P_{Zmax} der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa. ^{A2}

^{A2} ANMERKUNG Die Werte für P_H und P_R in den Gleichungen (29) und (29a) unterscheiden sich im Allgemeinen, weil unterschiedliche Bedingungen vorliegen. ^{A2}

5.10.1.2 Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Überdruck-Abgasanlage (P_{ZO} ^{A2} und P_{ZOmin} ^{A2})

^{A2} Der maximale und minimale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt der Überdruck-Abgasanlage P_{ZO} und P_{ZOmin} sind in erster Linie abhängig vom Abgasmassenstrom und von der Abgastemperatur, von der wirksamen Abgasanlagenhöhe, vom Querschnitt und von den maßgebenden Bauartkennwerten (Rauigkeit und Wärmedurchlasswiderstand) der Abgasanlage.

Der maximale und minimale Überdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage P_{ZO} und P_{ZOmin} sind nach den folgenden Gleichungen zu bestimmen: ^{A2}

$$\supset P_{ZO} = P_R - P_H + P_L \quad \text{in Pa} \quad (30) \supset$$

$$\supset P_{ZOmin} = P_R - P_H \quad \text{in Pa} \quad (30a) \supset$$

Dabei ist

P_H der Ruhedruck für den senkrechten Abschnitt der Abgasanlage, in Pa;

P_L der Winddruck, in Pa;