

DIN EN 13384-2

ICS 91.060.40

Ersatz für
DIN EN 13384-2:2003-12

**Abgasanlagen –
Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren –
Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstätten;
Deutsche Fassung EN 13384-2:2003+A1:2009**

Chimneys –
Thermal and fluid dynamic calculation methods –
Part 2: Chimneys serving more than one heating appliance;
German version EN 13384-2:2003+A1:2009

Conduit de cheminée –
Méthode de calcul thermo-aéraulique –
Partie 2: Conduits de fumée desservant plus d'un appareil de chauffage;
Version allemande EN 13384-2:2003+A1:2009

Gesamtumfang 83 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-2:2003+A1:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet, dessen Sekretariat bei UNI (Italien) gehalten wird.

Der nationale Spiegelausschuss, der die Arbeiten mit seinen Experten begleitet hat, ist der NABau-Arbeitsausschuss NA 005-11-35 AA „Berechnung von Abgasanlagen“/(SpA CEN/TC 166 WG 2).

Diese Norm enthält Festlegungen für die wärme- und strömungstechnischen Berechnungsverfahren für Querschnitte von Abgasanlagen.

Änderungen wurden mit den Kennzeichen   dargestellt.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13384-2:2003-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) in Abschnitt 1 wurde der Anwendungsbereich erweitert;
- b) Tabelle 1 wurde erweitert;
- c) die Abschnitte 5, 6, 7, 8, 12, 14 und 15 wurden insgesamt überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4705-3: 1984-07
DIN V 4705-3: 1997-08
DIN EN 13384-2: 2003-12

Deutsche Fassung

**Abgasanlagen —
Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren —
Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstätten**

Chimneys —
Thermal and fluid dynamic calculation methods —
Part 2: Chimneys serving more than one heating appliance

Conduit de cheminée —
Méthode de calcul thermo-aéraulique —
Partie 2: Conduits de fumée desservant plus d'un appareil
de chauffage

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. März 2003 angenommen und schließt Änderung 1, die am 23. November 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	5
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe	8
4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	9
5 Berechnungsverfahren	12
5.1 Allgemeine Grundsätze.....	12
5.2 Druckbedingung	14
5.2.1 A_1 Unterdruck-Abgasanlagen A_1	14
5.2.2 A_1 Überdruck-Abgasanlagen.....	15
5.3 Bedingungen für den Massenstrom	16
5.4 A_1 Druckbedingungen A_1	16
5.4.1 A_1 Unterdruck-Abgasanlagen	16
5.4.2 A_1 Überdruck-Abgasanlagen.....	17
5.5 Temperaturbedingung.....	18
5.6 Berechnungsgang	19
6 Abgaskennlinien für die Feuerstätten	22
7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück.....	23
8 Grundwerte für die Berechnung.....	24
8.1 Lufttemperaturen	24
8.1.1 Außenlufttemperatur (T_L)	24
8.1.2 Umgebungslufttemperatur (T_U).....	24
8.2 Außenluftdruck (p_L).....	24
8.3 Gaskonstante	24
8.3.1 Gaskonstante der Luft (R_L)	24
8.3.2 Gaskonstante des Abgases (R)	24
8.4 Dichte der Außenluft (ρ_L)	24
8.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases (c_p).....	24
8.6 Wasserdampfgehalt ($\sigma(H_2O)_j$) und Taupunkttemperatur (T_{sp})	24
8.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrschung (S_H).....	25
8.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl (S_E)	25
8.9 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient.....	25
9 Ermittlung der Temperaturen	25
10 Berechnung der Mischungsvorgänge	27
10.1 Abgasmassenstrom (\dot{m}_j)	27
10.2 Abgastemperatur am Eintritt in einen Abschnitt einer Abgasanlage ($T_{e,j}$)	27
10.3 CO ₂ -Gehalt des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage ($\sigma(CO_2)_j$).....	28
10.4 H ₂ O-Gehalt des Abgases ($\sigma(H_2O)_j$).....	28
10.5 Gaskonstante des Abgases (R_j).....	28
10.6 Stoffdaten	28
10.6.1 Spezifische Wärmekapazität ($c_{pV,j}$), ($c_{p,j}$)	28
10.6.2 Wärmeleitfähigkeit des Abgases ($\lambda_{AV,j}$), ($\lambda_{A,j}$).....	29
10.6.3 Dynamische Viskosität ($\eta_{AV,j}$), ($\eta_{A,j}$).....	29

11	Dichte und Geschwindigkeiten des Abgases.....	30
12	A1 Bestimmung der Drücke A1	31
12.1	A1 Drücke an jeder Abgaseinführung in die Abschnitte der Abgasanlage A1	31
12.1.1	A1 Unterdruck.....	31
12.1.2	A1 Überdruck.....	31
A1 12.1.3	A1 Ruhedruck in einem Abschnitt der Abgasanlage ($P_{H,j}$).....	31
A1 12.1.4	A1 Widerstandsdruck im Abschnitt j der Abgasanlage ($P_{R,j}$).....	31
12.2	A1 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}) A1	34
A1 12.2.1	A1 Notwendiger und zulässiger Unterdruck.....	34
12.2.2	Maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck.....	35
A1 12.2.3	A1 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück ($P_{V,j}$).....	35
A1 12.2.4	A1 Errechneter Förderdruck für die Zuluft ($P_{Bc,j}$) A1	37
13	Innenwandtemperatur.....	38
14	Kaskadenschaltungen.....	39
14.1	Grundzüge des Berechnungsverfahrens.....	39
14.2	Druckbedingung.....	39
A1 14.2.1	A1 Unterdruck-Kaskadenschaltung A1	39
A1 14.2.2	A1 Überdruck-Kaskadenschaltung.....	41
14.3	Bedingungen für den Massenstrom.....	41
14.4	A1 Druckbedingungen A1	42
A1 14.4.1	A1 Unterdruck-Abgasanlagen A1	42
14.4.2	Überdruck-Abgasanlagen.....	43
14.5	Temperaturbedingung.....	44
14.6	Berechnungsgang.....	44
14.7	A1 Drücke A1 an dem Austritt des Verbindungsstückes und A1 Drücke A1 an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt.....	44
14.7.1	A1 Druck A1 an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt A1 ($P_{ZC,j,l}$ oder $P_{ZOC,j,l}$) A1	44
14.7.2	A1 Notwendige oder vorhandene Drücke A1 an dem Austritt des Verbindungsstückes A1 ($P_{ZcC,j,l}$, $P_{ZcOC,j,l}$) A1	48
14.8	Innenwandtemperatur ($T_{iobC,j,l}$).....	50
15	Luft-Abgasanlagen.....	51
15.1	Grundzüge des Berechnungsverfahrens.....	51
15.2	Druckbedingung.....	51
15.3	Bedingung für den Massenstrom.....	51
15.4	Druckbedingung.....	52
A1 15.4.1	A1 Unterdruck-Abgasanlagen.....	52
15.4.2	Überdruck-Abgasanlagen.....	52
15.5	Temperaturbedingung.....	54
15.6	Berechnungsgang für Luft-Abgasanlagen.....	55
15.7	Massenstrom für die Zuluft.....	56
15.8	Temperaturbestimmung in Luft-Abgas-Systemen.....	57
15.8.1	Einzelne Schächte.....	57
15.8.2	Konzentrische Schächte.....	57
15.8.3	Konzentrische Verbindungsstücke.....	65
15.9	A1 Drücke in den Zuluftschächten A1	72
15.9.1	A1 Ruhedruck im Zuluftschacht des Abschnitts j der Abgasanlage A1	72
15.9.2	Ruhedruck A1 <i>gestrichener Text</i> A1 des Luftzuführungsschachtes des Verbindungsstückes.....	72
15.9.3	Widerstandsdruck im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage ($P_{RB,j}$).....	73

	Seite
15.9.4 Widerstandsdruck des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j ($P_{RBV,j}$).....	74
15.10 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft.....	77
15.10.1 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft im Zuluftschacht gemittelt über die Länge eines Abschnittes der Abgasanlage	77
15.10.2 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes	78
Anhang A (informativ) Empfehlungen und Hinweise	79
A.1 Empfehlungen bezüglich Abgasanlage und Feuerstätte.....	79
A.2 Empfehlungen bezüglich der Verbindungsstücke	79
Anhang B (informativ) Kennwerte für die Feuerstätte.....	80

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13384-2:2003+A1:2009) 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 Juli 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2009 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, und wurde vom CEN am 2008-11-23 angenommen.

Dieses Dokument ersetzt EN 13384-2:2003.

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

Diese Norm gehört zu einer Normreihe, die von CEN/TC 166 erstellt wird und Produktnormen wie auch Ausführungsnormen von Abgasanlagen beinhaltet.

Die Anhänge A und B sind informativ.

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.

Einleitung

Das in dieser Norm beschriebene Berechnungsverfahren ist sehr komplex und wird am besten mit Hilfe eines Computer-Programms angewendet.

Diese Norm dient zur Unterstützung der Ausführungsnormen für mehrfach belegte Abgasanlagen.

Die jeweilige Ausführungsnorm legt Grenzen und sicherheitstechnische Anforderungen in Zusammenhang mit der Planung, der Errichtung, Inbetriebnahme und der Wartung mehrfach belegter Abgasanlagen fest (dies wird in dieser Berechnungsnorm nicht geregelt).

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normreihe 13384 legt Berechnungsmethoden für die wärme- und strömungstechnischen Eigenschaften von mehrfach belegten Abgasanlagen fest.

Dieser Teil der EN 13384 umfasst zwei Fälle:

- 1) Abgasanlagen in die mehrere Verbindungsstücke von einzelnen oder mehreren Feuerstätten in Mehrfachanordnung münden;
- 2) Abgasanlagen in die ein bestimmtes Verbindungsstück münden, das mehrere Wärmerzeuger in Kaskadenschaltung verbindet.

Der Fall von Mehrfachanschlüssen von Kaskadenschaltungen ist durch Fall 1) abgedeckt.

A1 Dieser Teil von EN 13384 befasst sich mit Unterdruck-Abgasanlagen (im Verbindungsstück können Überdruckbedingungen herrschen) sowie mit Überdruck-Abgasanlagen und gilt für Abgasanlagen mit Feuerstätten für flüssige, gasförmige und feste Brennstoffe. **A1**

Dieser Teil der Normreihe EN 13384 gilt nicht für:

- Abgasanlagen mit unterschiedlichen Wärmedurchlasswiderständen oder unterschiedlichen Querschnitten in den verschiedenen Abschnitten der Abgasanlage. Energiegewinne werden durch diesen Teil der Normreihe nicht berücksichtigt;
- Abgasanlagen für offene Feuerstätten, z. B. offene Kamine oder Abgaseinleitungen in die Abgasanlage, die bestimmungsgemäß offen im Raum betrieben werden;
- Abgasanlagen für ein Gemisch aus Abgasen von Ventilator unterstützten- oder Überdruckbrennern oder Naturzugkesseln;
- Abgasanlagen mit Mehrfachanschlüssen aus mehr als 5 Geschossen (dies gilt nicht für Luft-Abgasanlagen);
- Abgasanlagen an die Wärmerzeuger angeschlossen werden, denen die Zuluft über Zuluftöffnungen oder Zuluftkanäle zugeführt wird, die sich nicht druckmäßig im gleichen Luftverbund befinden (z. B. auf der gleichen Seite des Gebäudes).

A1 Bei Überdruck-Abgasanlagen gilt dieser Teil nur dann, wenn alle nicht in Betrieb befindlichen Feuerstätten sicher abgesperrt werden können, um einen Abgasrückfluss zu verhindern. **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).

A1 EN 1443:2003 **A1**, *Abgasanlagen — Allgemeine Anforderungen*

A1 *gestrichener Text* **A1**

EN 13384-1:2002, *Abgasanlagen — Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren — Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte*

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

A1 EN 15287-2:2008, *Abgasanlagen — Planung, Montage und Abnahme von Abgasanlagen — Teil 2: Abgasanlagen für raumluftunabhängige Feuerstätten* **A1**

3 Begriffe

[A1] Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1443:2003, EN 13384-1:2002, EN 15287-1:2007, EN 15287-2:2008 und die folgenden Begriffe. **[A1]**

3.1

Abschnitt einer Abgasanlage

Teil einer Abgasanlage zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einführungen eines Verbindungsstückes oder zwischen der letzten Einföhrung und dem Austritt aus der Abgasanlage

3.2

Abschnitt des Sammlers

Teil eines Verbindungsstückes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einföhrungen in das Verbindungsstück oder zwischen der letzten Einföhrung in das Verbindungsstück und dem Eintritt in die Abgasanlage

3.3

Luft-Abgassystem

System von konzentrischen oder parallelen Leitungen für den Transport von Verbrennungsluft aus dem Freien zur Feuerstätte und von Verbrennungsprodukten von der Feuerstätte ins Freie

3.4

Abgasmassenstrom

\dot{m}

Masse des Abgases von der Feuerstätte durch das Verbindungsstück in der Zeiteinheit. Bei Abgasanlagen mit Mehrfachbelegung bezeichnet man als Abgasmassenstrom auch die Luftmasse, die durch eine nicht in Betrieb befindliche Feuerstätte strömt

3.4.1

deklarerter Abgasmassenstrom

$\dot{m}_{W,j}$

vom Hersteller der Feuerstätte j angegebene Abgasmassenstrom bezüglich der in der Berechnung zu berücksichtigenden Wärmeleistung

3.4.2

berechneter Abgasmassenstrom

$\dot{m}_{Wc,j}$

Abgasmassenstrom, der bezüglich des rechnerisch ermittelten Unterdruckes und der Betriebsbedingungen der Feuerstätte j berechnet wurde

3.5

berechnete Temperatur des Abgasmassenstromes

$T_{Wc,j}$

Abgastemperatur am Abgasstutzen der Feuerstätte j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom

3.6

errechneter Förderdruck des Abgases einer Feuerstätte

$P_{Wc,j}$

Förderdruck am Abgasstutzen der Feuerstätte j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom

3.7

Abgasklappe

Vorrichtung um das Abgas teilweise oder ganz abzusperren

3.8

Luft-Abgasanlage

Abgasanlage bei der der Punkt des Lufteintrittes für die Verbrennungsluft-Zuluftleitung neben dem Punkt des Austritts der Verbrennungsprodukte der Abgasanlage ins Freie liegt, wobei Lufteintritt und Abgasaustritt so positioniert sind, dass Windeinflüsse entscheidend ausgeglichen werden

3.9

Kaskadenschaltung

Anordnung bei der zwei oder mehr Feuerstätten im gleichen Aufstellungsraum mit einem gemeinsamen Verbindungsstück an die Abgasanlage angeschlossen sind

3.10

A1 Mehrfachbelegung **A1**

Anordnung bei der zwei oder mehr Feuerstätten in verschiedenen Aufstellungsräumen an die Abgasanlage mit separaten Verbindungsstücken angeschlossen werden

3.11

Zuluftleitung

unabhängige Leitung in einem Gebäude oder Bestandteil einer Abgasanlage, die Verbrennungsluft zu einer Feuerstätte führt, der sich in einem abgeschlossenen, dichten Raum befindet

3.12

Überströmöffnung

Öffnung oder Leitung, die die Zuluftleitung direkt mit der Abgasleitung am Boden verbindet

4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

Formelzeichen, Benennungen und Einheiten werden hier angegeben, um den Text der Norm verständlich zu machen, obwohl schon ein Teil davon in EN 13384-1 aufgeführt ist. Die Indizes, die den Formelzeichen zum Zweck der Berechnung mehrfach belegter Abgasanlagen zugefügt werden, beziehen sich auf jeweils einen bestimmten Abschnitt der Abgasanlage und/oder auf Abschnitt eines Verbindungsstückes. Ein Beispiel für ein Bezeichnungsschema mit Indizes ist in den Bildern 1 und 2 angegeben. Die Ziffern der Indizes müssen mit der niedrigsten und am weitesten gelegenen Verbindung zur Feuerstätte beginnen. Bei mehr als einer Kaskadenschaltung/-verbindung sollte das Benummerungsschema durch die Indizes für die Berechnungsformel analog dem Schema für ein einzelnes Kaskadensystem aufgebaut sein. Formelzeichen, die einem bestimmten Abschnitt zugeordnet werden sollen, werden mit der Nummer des Abschnittes nach dem Komma bezeichnet (z. B. $H_{,1}$ ist die wirksame Höhe einer Sektion eines Abschnittes einer Abgasleitung zwischen dem Austritt des Verbindungsstückes der Feuerstätte in der untersten Position und dem Austritt des Verbindungsstückes der nächsten Feuerstätte).

Tabelle 1 — Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
A	Fläche des lichten Querschnittes eines Abschnittes einer Abgasanlage	m^2
c_p	spezifische Wärmekapazität des Abgases	$J/(kg \cdot K)$
D	Durchmesser des Querschnittes eines Abschnittes einer Abgasanlage	m
D_h	hydraulischer Durchmesser eines Abschnittes einer Abgasanlage	m
g	Erdanziehung = 9,81	m/s^2
H_j	wirksame Höhe des Abschnittes j der Abgasanlage	m
$H_{V,j}$	wirksame Höhe des Verbindungsstückes j	m

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
K_j	Abkühlzahl des Abschnittes j der Abgasanlage	–
k_j	Wärmedurchgangskoeffizient des Abschnittes j der Abgasanlage	W/(m ² ·K)
$k_{ob,j}$	Wärmedurchgangskoeffizient am oberen Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	W/(m ² ·K)
$K_{V,j}$	Abkühlzahl im Verbindungsstück j	–
L_j	Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	m
\dot{m}_j	Abgasmassenstrom im Abschnitt j der Abgasanlage	kg/s
$\dot{m}_{V,j}$	Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j	kg/s
$\dot{m}_{W,j}$	angegebener Abgasmassenstrom der Feuerstätten j	kg/s
$\dot{m}_{Wc,j}$	berechneter Abgasmassenstrom der Feuerstätten j	kg/s
N	Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten	–
Nu	Nusselt-Zahl	–
$Q_{min,j}$	Mindest-Nennwärmeleistung der Feuerstätten j	kW
$Q_{N,j}$	Nennwärmeleistung der Feuerstätte j	kW
$P_{B,j}$	Förderdruck der Zuluftstelle j der Feuerstätte j	Pa
$P_{Bc,j}$	errechneter Förderdruck der Zuluft für die Feuerstätte j	Pa
$P_{H,j}$	Ruhedruck im Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
P_L	Winddruck	Pa
p_L	Außenluftdruck	Pa
$P_{R,j}$	Widerstandsdruck im Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
Pr	Prandtl-Zahl	–
$P_{V,j}$	errechneter Widerstandsdruck des Verbindungsstückes j	Pa
$P_{W,j}$	notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte j	Pa
$P_{Wc,j}$	errechneter Förderdruck für die Feuerstätte j	Pa
$\overline{A_1} P_{Wmax,j}$	zulässiger Unterdruck an der Feuerstätte j	Pa
$P_{WO,j}$	maximaler zur Verfügung stehender Förderdruck der Feuerstätte j	Pa
$P_{Woc,j}$	errechneter zur Verfügung stehender Förderdruck der Feuerstätte j	Pa
$P_{Womin,j}$	erforderlicher Überdruck an der Feuerstätte j	Pa $\overline{A_1}$
$P_{Z,j}$	Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$\overline{A_1} P_{Z,min,j}$	minimaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
$P_{Zmax,j}$	maximaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{Ze,j}$	notwendiger minimaler Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{Zemax,j}$	maximal zulässiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{ZO,j}$	maximaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{ZOmin,j}$	minimaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{ZOe,j}$	maximaler nutzbarer Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{ZOemin,j}$	erforderlicher Überdruck an der Abgaseinführung in senkrechten den Abschnitt j der Abgasanlage	Pa $\overline{A_1}$
R	Gaskonstante des Abgases	J/(kg·K)
r	mittlerer Rauigkeitsbeiwert der Innenwand	m
Re	Reynolds-Zahl	–
R_L	Gaskonstante der Luft	J/(kg·K)
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl	–
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	–
$T_{e,j}$	Abgastemperatur am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	K
$T_{g,j}$	Grenztemperatur der Wandung des Abschnittes j der Abgasanlage	K
$T_{iob,j}$	Innenwandtemperatur an dem Austritt des Abschnittes j der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung	K
T_L	Außenlufttemperatur	K
$T_{m,j}$	über die Länge eines Abschnittes j der Abgasanlage gemittelte Abgastemperatur	K
$T_{o,j}$	Abgastemperatur an dem Austritt des Abschnittes j der Abgasanlage	K
$T_{u,j}$	Umgebungslufttemperatur des Abschnittes j der Abgasanlage	K
$T_{W,j}$	angegebene Abgastemperatur für die Feuerstätte j	K
$T_{Wc,j}$	berechnete Abgastemperatur für die Feuerstätte j	K
U	innerer Umfang der Abgasanlage	m
$w_{m,j}$	über die Länge und den Querschnitt gemittelte Geschwindigkeit des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage	m/s
α_i	innerer Wärmeübergangskoeffizient der Abgasleitung	W/(m ² ·K)
γ	Winkel, gebildet durch die Strömungsrichtungen, z. B. zwischen der Strömungsrichtung im Verbindungsstück und im Abschnitt der Abgasanlage	grad

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
η_A	dynamische Viskosität des Abgases	N·s/m ²
$\frac{1}{\lambda}$	Wärmedurchlasswiderstand	m ² ·K/W
λ_A	Wärmeleitfähigkeit des Abgases	W/(m·K)
$\rho_{m,j}$	über die Länge und den Querschnitt gemittelte Dichte des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage	kg/m ³
ψ	Widerstandszahl infolge innerer Reibung an der Abgasleitung	–
ζ	Widerstandszahl infolge Richtungsänderungen und/oder Querschnittsänderungen und/oder Änderungen des Abgasmassenstromes	–

5 Berechnungsverfahren

5.1 Allgemeine Grundsätze

Das Berechnungsverfahren beruht auf der Ermittlung der Verteilung des Abgasmassenstromes in der Abgasanlage. Die Druckbedingung (Gleichung (1)) muss dabei an jedem Eintrittspunkt des Abgases in die Abgasanlage erfüllt sein (siehe Bild 1). Nachdem diese Verteilung so ermittelt wurde, müssen folgende A_1 vier A_1 Bedingungen berücksichtigt werden:

A_1

- 1) die Bedingung für den Abgasmassenstrom (Gleichungen (4) und (5));
- 2) die Druckbedingung für den minimalen Unterdruck oder maximalen Überdruck (Gleichungen (6) oder (6b) und (6c));
- 3) die Druckbedingung für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck (Gleichungen (6a) oder (6d));
- 4) die Temperaturbedingung (Gleichung (7)). A_1

A_1 ANMERKUNG 1 A_1 Das Berechnungsverfahren wird durch individuelle Einbaumaßnahmen beeinflusst. Hinweise zum Einbau von Feuerstätten und Verbindungsstücken enthält Anhang A.

A_1 ANMERKUNG 2 Die Druckbedingungen für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck sind nur dann erforderlich, wenn es einen Grenzwert für den maximalen Unterdruck der (Unterdruck-)Feuerstätte oder einen Minstdifferenzdruck der (Überdruck-)Feuerstätte gibt.

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

- die Berechnung des minimalen Unterdrucks und des maximalen Überdrucks (Zug) erfolgt bei Bedingungen, bei denen die Leistung der Abgasanlage minimal ist (d. h. hohe Außentemperatur); sowie
- 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. niedrige Außentemperatur). A_1

Die Validierung der Bedingungen für den Abgasmassenstrom und der Druckbedingung müssen bei folgenden Betriebsbedingungen unter Berücksichtigung der Außen- und Umgebungslufttemperatur nach EN 13384-1 erfolgen:

- alle Feuerstätten arbeiten gleichzeitig mit Nennwärmeleistung;
- alle Feuerstätten arbeiten gleichzeitig mit kleinster Nennwärmeleistung;
- eine Feuerstätte arbeitet mit Nennwärmeleistung und alle anderen sind nicht in Betrieb (*M* Fälle);
- eine Feuerstätte arbeitet mit kleinster Leistung und alle anderen sind nicht in Betrieb (*M* Fälle).

Wenn durch die Regelung der Anlage sichergestellt werden kann, dass nicht alle Feuerstätten gleichzeitig in Betrieb sind, darf die Validierung der Bedingung für den Abgasmassenstrom und die Überprüfung der Druckbedingung mit der größten Anzahl der Feuerstätten, die in Betrieb sind, mit unterschiedlichsten Betriebsbedingungen, durchgeführt werden.

Die Validierung der Bedingung für den Abgasmassenstrom und die Überprüfung der Druckbedingung braucht bei Feuerstätten, die mit kleinster Wärmeleistung betrieben werden, in folgenden Fällen nicht durchgeführt werden:

- die Feuerstätten haben keinen Leistungsbereich;
- die Feuerstätten haben eine stationäre Wärmeleistung mit einer Obergrenze wie vom Hersteller deklariert. Dieser Wert muss auf dem Kennzeichnungsschild der Feuerstätte angegeben sein. In diesem Fall ist die Nennwärmeleistung die Wärmeleistung, die auf dem Kennzeichnungsschild angegeben ist;
- Feuerstätten ohne Gebläse und geregelter Zuluftzufuhr, die mit festen Brennstoffen beheizt werden.

Die Validierung des Abgasmassenstromes für die Betriebsbedingungen „Nennwärmeleistung“ der Feuerstätten braucht für folgenden Fall nicht durchgeführt werden:

- die Feuerstätten haben einen größeren oder mindestens gleichen Abgasmassenstrom bei kleinster Wärmeleistung als bei Nennwärmeleistung.

Die Temperaturbedingung muss bei folgenden relevanten Betriebsbedingungen und Umgebungslufttemperatur- und Außenlufttemperaturbedingungen nach EN 13384-1 eingehalten werden:

- bei Feuerstätten für feste Brennstoffe ohne Gebläse und Feuerstätten mit geregelter Zuluftzufuhr jeweils bei Nennwärmeleistung;
- bei Feuerstätten mit Strömungssicherungen für Warmwasserbereitung außer Betrieb. Diese Feuerstätten werden mit entsprechender Sekundärluft betrieben (sie sind nur kurzzeitig in Betrieb und deswegen darf angenommen werden, dass Kondensation keine Schäden verursacht oder Sicherheitsrisiken beinhaltet);
- bei Feuerstätten, die mit stationärem Wärmeleistungsbereich bei dieser (Nenn-)Wärmeleistung betrieben werden;
- bei allen anderen Feuerstätten, die mit kleinster Wärmeleistung betrieben werden.

Für im Gebäude angeordnete, feuchteunempfindliche Abgasanlagen genügt der Nachweis der Temperaturbedingung an dem Austritt der Abgasanlage.

Die Einhaltung der Temperaturbedingung braucht nicht nachgewiesen werden, wenn an die Abgasanlage nur gasbeheizte Umlauf-Wasserheizer und gasbefeuerte Vorrats-Wasserheizer angeschlossen sind.

Wenn die Abgasanlage mit einer Abgasklappe ausgestattet ist, wird sie wie eine Kaskadenschaltung betrachtet.

5.2 Druckbedingung

5.2.1 A1 Unterdruck-Abgasanlagen A1

Folgende Gleichungen müssen für jeden Abschnitt j der Abgasanlage für alle relevanten Betriebsbedingungen erfüllt werden:

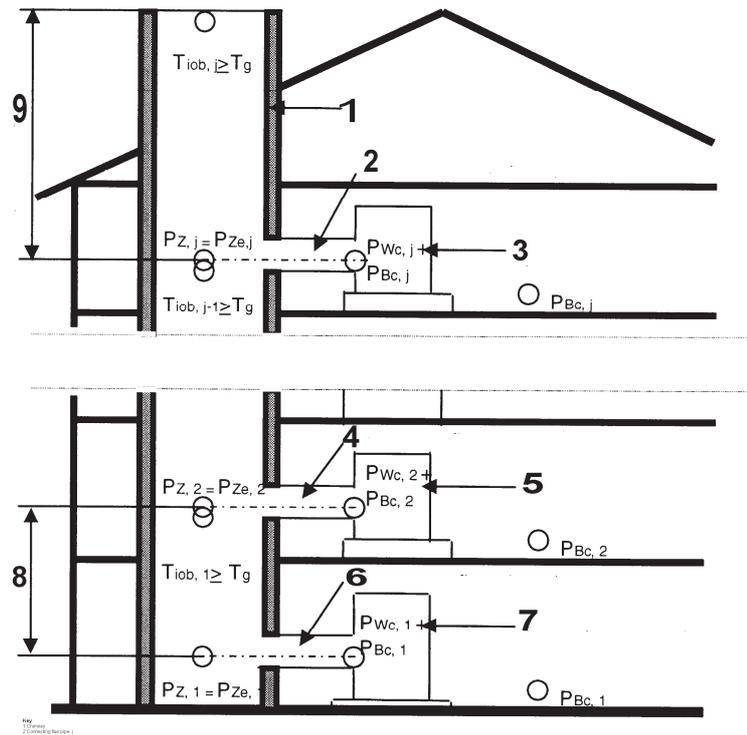
$$|P_{Z,j} - P_{Ze,j}| \leq 0,1 \quad \text{in Pa} \quad (1)$$

$$P_{Z,j} = -P_L + \sum_{k=j}^N (P_{H,k} - P_{R,k}) \quad \text{in Pa} \quad (2)$$

$$P_{Ze,j} = P_{Ee,j} + P_{V,j} + P_{Bc,j} \quad \text{in Pa} \quad (3)$$

Dabei ist

$P_{Z,j}$	der Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasleitung	in Pa;
$P_{H,k}$	der Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasleitung	in Pa;
$P_{R,k}$	der Widerstandsdruck im Abschnitt k der Abgasleitung	in Pa;
$P_{Wc,j}$	der errechnete Förderdruck der Feuerstätte	in Pa;
$P_{V,j}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{Bc,j}$	der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j	in Pa;
$P_{Ze,j}$	der notwendige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	A1 in Pa A1 ;
P_L	der Winddruck	A1 in Pa A1 ;
N	die Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten.	



Legende

- 1 Schornstein
- 2 Verbindungsstück j
- 3 Feuerstätte j
- 4 Verbindungsstück 2
- 5 Feuerstätte 2
- 6 Verbindungsstück 1
- 7 Feuerstätte 1
- 8 Abschnitt 1 der Abgasanlage
- 9 Abschnitt j der Abgasanlage

Bild 1 — Beispiel einer Mehrfachbelegung und Benummerung der Druck- und der Temperaturwerte in einer Abgasanlage

5.2.2 Überdruck-Abgasanlagen

Folgende Gleichungen müssen für jeden Abschnitt j der Abgasanlage für alle relevanten Betriebsbedingungen erfüllt werden:

$$|P_{ZOe,j} - P_{ZO,j}| \leq 0,1 \quad \text{in Pa} \quad (3a)$$

$$P_{ZO,j} = P_L + \sum_{k=j}^N (P_{R,k} - P_{H,k}) \quad \text{in Pa} \quad (3b)$$

$$P_{ZOe,j} = P_{WOc,j} + P_{V,j} + P_{Bc,j} \quad \text{in Pa} \quad (3c)$$

Dabei ist

$P_{ZO,j}$	der maximaler Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{H,k}$	der Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{R,k}$	der Widerstandsdruck im Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{WOc,j}$	der errechnete zur Verfügung stehende Förderdruck der Feuerstätte j	in Pa;
$P_{V,j}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{Bc,j}$	der errechnete notwendige Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j	in Pa;
$P_{ZOe,j}$	der maximal nutzbare Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
P_L	der Winddruck	in Pa;
N	die Anzahl der Feuerstätten. A1	

5.3 Bedingungen für den Massenstrom

Die Gleichungen (4) bzw. (5) gelten für alle relevanten Betriebsbedingungen (siehe 5.6).

Für jede in Betrieb befindlichen Feuerstätte gilt bei Nennwärmeleistung:

$$\dot{m}_{Wc,j} \geq \dot{m}_{W,j} \quad \text{in kg/s} \quad (4)$$

und für jede nicht in Betrieb befindlichen Feuerstätte:

$$\dot{m}_{Wc,j} \geq 0 \quad \text{in kg/s} \quad (5)$$

Dabei ist

$$\dot{m}_{Wc,j} \quad \text{der berechnete Abgasmassenstrom der Feuerstätte} \quad \text{in kg/s;}$$

$$\dot{m}_{W,j} \quad \text{der angegebene Abgasmassenstrom der Feuerstätte} \quad \text{in kg/s.}$$

Ist eine Abgasklappe vorhanden, so wird der Strömungswiderstand 0 gesetzt, solange keine zusätzlichen Daten vorhanden sind.

5.4 A1 Druckbedingungen A1

5.4.1 A1 Unterdruck-Abgasanlagen

Bei Unterdruck-Abgasanlagen ist zusätzlich zu überprüfen, ob der Unterdruck in der Abgasanlage ($P_{Z,j}$) größer oder gleich dem Unterdruck im Aufstellraum der Feuerstätte bei berechneten Unterdruckbedingungen für die Luftzuführung ist. Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss unter den gleichen Bedingungen wie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom festgelegt, erfolgen (siehe 5.3 und 5.6). Folgende Zusammenhänge müssen verifiziert werden:

$$P_{Z,j} \geq P_{Bc,j} \quad \text{in Pa} \quad (6)$$

Dabei ist

$P_{Z,j}$ der minimale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{Bc,j}$ der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j in Pa.

Falls erforderlich, ist zusätzlich zu überprüfen, ob der Unterdruck (Zug) in der Abgasanlage ($P_{Zmax,j}$) niedriger oder gleich dem maximal zulässigen Unterdruck an der Feuerstätte ($P_{Zemax,j}$) ist. Die Gleichung (6a) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen.

$$P_{Zmax,j} = \sum_{k=j}^N (P_{H,k} - P_{R,k}) \leq P_{Wmax,j} + P_{V,j} + P_{Bc,j} = P_{Zemax,j} \quad \text{in Pa} \quad (6a)$$

Dabei ist

$P_{Zmax,j}$ der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{Zemax,j}$ der zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{H,k}$ der Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasanlage in Pa;

$P_{R,k}$ der Widerstandsdruck des Abschnittes k der Abgasanlage in Pa;

$P_{Wmax,j}$ der zulässige Unterdruck für die Feuerstätte j in Pa;

$P_{V,j}$ der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes von Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{Bc,j}$ der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j in Pa.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{H,k}$ und $P_{R,k}$ in den Gleichungen (2) und (6a) unterscheiden sich gewöhnlich, weil die Bedingungen unterschiedlich sind. \triangleleft

5.4.2 \triangleleft Überdruck-Abgasanlagen

Bei Überdruck-Abgasanlagen ist zusätzlich zu überprüfen, ob der maximale Überdruck im Verbindungsstück ($P_{ZO,j} + P_{V,j}$) und im senkrechten Teil der Abgasanlage ($P_{ZO,j}$) nicht höher ist als der Überdruck, für den beide vorgesehen sind ($P_{ZV \text{ excess}}$ und $P_{Z \text{ excess}}$). Die Überprüfung der Druckbedingung muss unter den gleichen Bedingungen wie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom festgelegt, erfolgen (siehe 5.3 und 5.6). Folgende Zusammenhänge müssen verifiziert werden:

$$P_{ZO,j} \leq P_{Z \text{ excess}} \quad \text{in Pa} \quad (6b)$$

$$P_{ZO,j} + P_{V,j} \leq P_{ZV \text{ excess}} \quad \text{in Pa} \quad (6c)$$

Dabei ist

$P_{ZO,j}$	der Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{V,j}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{Z\ excess}$	der höchste zulässige Auslegungsdruck entsprechend der Kennzeichnung der Abgasanlage	in Pa;
$P_{ZV\ excess}$	der maximal zulässige Überdruck entsprechend der Kennzeichnung des Verbindungsstückes	in Pa.

Falls erforderlich, ist zusätzlich zu überprüfen, ob der minimale Überdruck in der Abgasanlage ($P_{ZOmin,j}$) größer oder gleich dem erforderlichen minimalen Überdruck an der Feuerstätte ($P_{ZOemin,j}$) ist. Die Gleichung (6d) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15\text{ K}$ ($t_L = -15\text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen.

$$P_{ZOmin,j} = \sum_{k=j}^N (P_{R,k} - P_{H,k}) \geq P_{WOmin,j} - P_{Bc,j} - P_{V,j} = P_{ZOemin,j} \quad \text{in Pa} \quad (6d)$$

Dabei ist

$P_{ZOmin,j}$	der minimale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{ZOemin,j}$	der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{H,k}$	der Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{R,k}$	der Widerstandsdruck des Abschnittes k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{WOmin,j}$	der erforderliche Überdruck an der Feuerstätte j	in Pa;
$P_{Bc,j}$	der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j	in Pa;
$P_{V,j}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes von Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{H,k}$ und $P_{R,k}$ in den Gleichungen (3b) und (6d) unterscheiden sich gewöhnlich, weil die Bedingungen unterschiedlich sind. $\overline{A1}$

5.5 Temperaturbedingung

Die Gleichung (7) gilt für alle Betriebsbedingungen (siehe 5.6).

Die Überprüfung der Temperaturbedingung erfolgt in einem gesonderten Rechengang unter Berücksichtigung der soeben errechneten Abgasmassenströme, welche die Druckbedingung bei einer Außenlufttemperatur von $T_{uo,j}$ erfüllen (siehe EN 13384-1).

$$T_{io,j} \geq T_{g,j} \quad \text{in K} \quad (7)$$

Dabei ist

$T_{\text{io},j}$ die Innenwandtemperatur an dem Austritt des Abschnittes j der Abgasanlage in K;

$T_{g,j}$ die Grenztemperatur des Abschnittes j der Abgasanlage in K.

Die Grenztemperatur $T_{g,j}$ für Abgasanlagen im trockenen Betrieb ist gleich der Taupunkttemperatur $T_{\text{sp},j}$ des Abgases (siehe 8.6). $T_{g,j} = T_{\text{sp},j}$.

Die Grenztemperatur $T_{g,j}$ für Abgasanlagen für den feuchten Betrieb entspricht dem Gefrierpunkt von Wasser: $T_{g,j} = 273,15$ K.

ANMERKUNG In folgenden Fällen braucht die Temperaturbedingung nicht eingehalten zu werden, wenn akzeptiert wird, dass nicht sichergestellt werden kann, dass keine Feuchtigkeit auftritt wenn die Temperaturbedingung nicht eingehalten ist. In derartigen Fällen wird Wärmedämmung empfohlen.

- Feuerstätten, die an eine Abgasanlage angeschlossen werden, die bereits in Betrieb ist und
- die Wärmeleistung der Feuerstätte, die angeschlossen und/oder ersetzt wird, jeweils 30 kW nicht überschreitet und
- die Abgasverluste gleich oder kleiner als 8 % sind und
- eine wirksame Luftzirkulation durch die Abgasanlage durch Strömungssicherungen und Abgasklappen während der Stillstandszeiten gegeben ist und
- genügend Stillstandszeiten vorhanden sind (z. B. wenn die Mindestwärmeleistung der Feuerstätte bei Bereitschaftsbetrieb nicht weniger als 20 % der benötigten Wärmeleistung beträgt).

5.6 Berechnungsgang

Bei der Berechnung der Druck- und Temperaturverhältnisse in einer mehrfach belegten Abgasanlage ist eine iterative Vorgehensweise notwendig. Der Berechnungsgang basiert auf Masse- und Energiebilanzgleichungen unter angenommenen statischen Bedingungen.

An allen Punkten an denen Leitungen eingebunden werden (am Ende eines Verbindungsstückes, am Anfang und Ende eines Abschnittes der Abgasanlage), an allen Knotenpunkten (siehe Bild 2) gelten die folgenden Gleichungen:

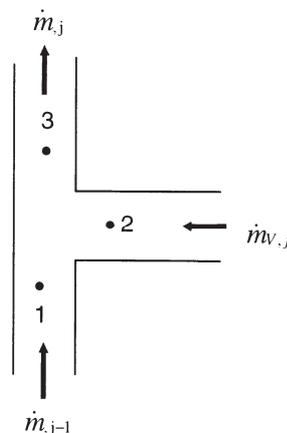


Bild 2 — Bezeichnungs- und Benummerungsbeispiel für Knoten (siehe Gleichungen (8) und (9))

— bei der Zusammenführung unterschiedlicher Massenströme:

$$\dot{m}_{j-1} + \dot{m}_{V,j} = \dot{m}_j \quad \text{in kg/s} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{j-1}c_{p,j-1}T_{o,j-1} + \dot{m}_{V,j}c_{pV,j}T_{oV,j} = \dot{m}_j c_{p,j}T_{e,j} \quad \text{in J/s} \quad (9)$$

Dabei ist

\dot{m}_{j-1} der Abgasmassenstrom im Abschnitt j-1 in kg/s;

$\dot{m}_{V,j}$ der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j in kg/s;

\dot{m}_j der Abgasmassenstrom im Abschnitt j in kg/s;

$c_{p,j-1}$ die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Abschnitt j-1 in J/(kg·K);

$c_{pV,j}$ die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Verbindungsstück j in J/(kg·K);

$c_{p,j}$ die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Abschnitt j in J/(kg·K);

$T_{o,j-1}$ die Abgastemperatur an dem Austritt des Abschnittes j-1 in K;

$T_{oV,j-1}$ die Abgastemperatur am Austritt aus dem Verbindungsstück j in K;

$T_{e,j}$ die Abgastemperatur an der Einführung in den Abschnitt j in K;

— \bar{A}_1 Der Unterdruck oder Überdruck am Anfang des Abschnittes der Abgasanlage (bei Punkt 3) wird hergeleitet aus dem Unterdruck oder Überdruck dieses Abschnittes der Abgasanlage und aller nachfolgenden Abschnitte entsprechend Gleichung (2). \bar{A}_1

ANMERKUNG Bei bestimmten gebläseunterstützten Wärmerzeugern darf entsprechend den Herstellerangaben angenommen werden, dass der Abgasmassenstrom von dem Unterdruck \bar{A}_1 oder Überdruck \bar{A}_1 in der Abgasanlage unabhängig ist. Diese Aussage soll dazu dienen, die Anzahl der Iterationen zu begrenzen.

Bei jeder Iteration sind folgende Parameter zu ermitteln:

— \bar{A}_1 für jeden Knotenpunkt j der tatsächliche Druckwert ($P_{Ze,j}$, $P_{Z,j}$ oder $P_{ZOe,j}$, $P_{ZO,j}$ und falls erforderlich $P_{Zemax,j}$, $P_{Zmax,j}$ oder $P_{ZOemin,j}$, $P_{ZOmin,j}$) sowie die Temperaturwerte ($T_{o,j-1}$ bei Punkt 1, $T_{oV,j}$ bei Punkt 2, $T_{e,j}$ bei Punkt 3);

— für jeden Abschnitt zwischen zwei Knotenpunkten, die Mittelwerte der tatsächlichen Temperatur, des Massenstromes und der Abgasgeschwindigkeit. \bar{A}_1

Vor der ersten Iteration ist ein Startwert für den Massenstrom am Abgasstutzen der Feuerstätte anzunehmen. Ein möglicher Startwert für den Massenstrom ist der deklarierte Abgasmassenstrom für die Feuerstätte $\dot{m}_{W,j}$.

Jede Iteration umfasst folgende zwei Phasen:

Phase 1: Berechne die Parameter ausgehend vom niedrigsten Knotenpunkt bis zum Austritt in die Atmosphäre wie folgt:

— berechne den Abgasmassenstrom am Abgasstutzen der Feuerstätte;

— **in jedem Verbindungsstück und in jeder Zuluftleitung:**

- errechneter Massenstrom (\dot{m}_{A1}) Gleichung (14) (\dot{m}_{A1});
- mittlere Dichte des Abgases/der Luft (Gleichung (29));
- mittlere Geschwindigkeit des Abgases/der Luft (Gleichung (30));
- Abgas/Lufttemperatur an dem Austritt (siehe EN 13384-1:2002, 5.8);
- mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1:2002, 5.8);

— **in jedem Abschnitt der Abgas-/Luftleitung:**

- errechneter Massenstrom vor/nach Beimischung (\dot{m}_{A1}) jedes Abschnittes (Punkt 3 in Bild 2) (Gleichung (13)) (\dot{m}_{A1});
- Temperatur des Abgases/der Luft nach Beimischung (Gleichung (15))
- mittlere Dichte des Abgases/der Luft (Gleichung (27));
- mittlere Geschwindigkeit des Abgases/der Luft (Gleichung (28));
- Abgas-/Lufttemperatur an dem Austritt (siehe EN 13384-1:2002, 5.8);
- mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1:2002, 5.8).

Phase 2: Berechne die Werte für den Unterdruck (Δp_{A1}) oder Überdruck (Δp_{A1}) jeweils an jedem Knotenpunkt ausgehend von dem Austritt der Abgasleitung ins Freie bis zurück zu dem Knotenpunkt, der davon am weitesten entfernt ist:

- erforderlicher Unterdruck (Δp_{A1}) oder verfügbarer Differenzdruck (Δp_{A1}) an der Abgaseinführung in die Abgasleitung (\dot{m}_{A1}) (Gleichung (3) oder (3c)) (Δp_{A1});
- Ruhedruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasleitung (Gleichung (31));
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasleitung (nach Gleichung (32));
- Unterdruck (Δp_{A1}) oder Überdruck (Δp_{A1}) an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasleitung (\dot{m}_{A1}) (mit Gleichung (2) oder (3b)). (Δp_{A1})

Die oben beschriebenen Iterationen (Phase 1 und Phase 2) werden unter Betriebsbedingungen (d. h. Nennwärmeleistung, kleinste Leistung und Feuerstätte abgeschaltet) solange fortgeführt, bis die Druckbedingung erfüllt ist (Gleichung (1)).

Ist die Druckbedingung erfüllt, so können die Werte der letzten Iteration als die Werte angesehen werden, mit denen im Sinne dieser Norm, unter Berücksichtigung des Betriebes der Abgasanlage und Einhaltung des Abgasmassenstromes, die Einhaltung der Druck- und Temperaturbedingungen wie folgt ausgeführt werden.

Ist die Druckbedingung nicht erfüllt, erfolgt eine erneute Vorschätzung von \dot{m}_W , die auf der festgestellten Differenz von $P_{Z,j}$ und $P_{Ze,j}$ (Δp_{A1}) oder $P_{ZO,j}$ und $P_{ZOe,j}$ (Δp_{A1}) beruht und mit der eine neue Iteration durchgeführt wird.

6 Abgaskennlinien für die Feuerstätten

Die für die Berechnung der Temperatur- und Druckwerte relevanten Daten für die Feuerstätten müssen vorhanden sein. Dies schließt ein:

- den notwendigen Förderdruck $\overline{A_1}$ oder des angegebenen zur Verfügung stehenden Förderdruckes $\overline{A_1}$ der Feuerstätte $\overline{A_1}$ ($P_{W,j}$ oder $P_{WO,j}$) $\overline{A_1}$;
- die vom Hersteller der Feuerstätte deklarierte Abgastemperatur ($t_{W,j}$).

Beide Werte müssen in Abhängigkeit vom Abgasmassenstrom bei verschiedenen Betriebsbedingungen der Feuerstätten (in Betrieb, außer Betrieb) angegeben werden. Der errechnete Förderdruck $P_{Wc,j}$ $\overline{A_1}$ oder der zur Verfügung stehende Förderdruck $P_{WOc,j}$ $\overline{A_1}$ der Feuerstätte ist für beide Betriebsbedingungen in Form eines Polynoms 4. Grades (Gleichung (10)) anzugeben.

$$P_{Wc,j} = b_0 + b_1 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right) + b_2 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^2 + b_3 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^3 + b_4 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^4 \quad \text{in Pa} \quad (10)$$

$$\overline{A_1} P_{WOc,j} = c_0 + c_1 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right) + c_2 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^2 + c_3 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^3 + c_4 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^4 \quad \text{in Pa} \quad (10a) \overline{A_1}$$

$$t_{Wc,j} = y_0 + y_1 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^{y_2} \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (11)$$

Dabei ist

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4	Faktoren der Polynom-Gleichung für den errechneten Förderdruck der Feuerstätte j;	
y_0, y_1, y_2	Faktoren der Exponentialgleichung für die Feuerstätte j;	
$\dot{m}_{Wc,j}$	der errechnete Abgasmassenstrom für die Feuerstätte j	in kg/s;
$\dot{m}_{W,j}$	der angegebene Abgasmassenstrom für die Feuerstätte j	in kg/s;
$P_{Wc,j}$	der errechnete Förderdruck der Feuerstätte	in Pa;
$\overline{A_1} P_{WOc,j}$	der errechnete zur Verfügung stehende Förderdruck der Feuerstätte	in Pa; $\overline{A_1}$
$t_{Wc,j}$	die errechnete Abgastemperatur der Feuerstätte	in $^\circ\text{C}$;
$\overline{A_1} c_0, c_1, c_2, c_3, c_4$	Faktoren der Polynom-Gleichung für den errechneten zur Verfügung stehenden Förderdruck der Feuerstätte j. $\overline{A_1}$	

$\overline{A_1}$ Bei Unterdruck-Abgasanlagen sind die Werte für b und y für die Betriebszustände „in Betrieb“ und „außer Betrieb“ getrennt zu ermitteln. Sind diese Werte nicht angegeben, sind die für die Feuerstätte charakteristischen Abgasdaten Anhang B zu entnehmen.

Bei Überdruck-Abgasanlagen sind die Werte für c und y für den Betriebszustand „in Betrieb“ aus den Angaben des Feuerstätte-Herstellers zu ermitteln.

ANMERKUNG 1 Wenn die Angaben für den Betriebszustand „in Betrieb“ nicht zur Verfügung stehen, ist die Berechnung nicht möglich.

Für den Betriebszustand „außer Betrieb“ müssen c_0 , c_1 , c_3 , c_4 und y_0 , y_1 , y_2 gleich 0 sein und c_2 muss –1 000 000 betragen.

ANMERKUNG 2 Bei Überdruckenwendungen beruht die Validierung des Massenstroms darauf, dass es keine Möglichkeit für einen Abgasrückfluss durch eine außer Betrieb befindliche Feuerstätte gibt. A_1

Zusätzlich müssen die Volumenkonzentration an CO_2 der Abgase bei den beiden Bezugswärmeleistungen (Nennwärmeleistung und kleinste Leistung der Feuerstätte $\sigma(\text{CO}_2)_{W,j}$) angegeben werden. Die angegebene Volumenkonzentration an CO_2 der Abgase kann auch für beide Bezugswärmeleistungen nach EN 13384-1:2002, Tabelle B.1 und Tabelle B.2, bestimmt werden.

Der errechnete CO_2 -Gehalt des Abgases der Feuerstätte j $\sigma(\text{CO}_2)_{W_{\text{at}},j}$ muss für die zwei Betriebsbedingungen „in Betrieb bei Nennwärmeleistung“ und „in Betrieb bei kleinster Wärmeleistung“ nach folgender Gleichung ermittelt werden:

- für Feuerstätten für flüssige und gasförmige Brennstoffe und Feuerstätten für feste Brennstoffe mit automatischer Nachspeisung:

$$\sigma(\text{CO}_2)_{W_{\text{c}},j} = \frac{1}{\left(\frac{\dot{m}_{W_{\text{c}},j}}{\dot{m}_{W,j}}\right) \frac{1}{\sigma(\text{CO}_2)_{W,j}} + \left[\left(\frac{\dot{m}_{W_{\text{c}},j}}{\dot{m}_{W,j}}\right) - 1\right] \frac{f_{m2}}{f_{m1}}} \quad \text{Volumenanteil in \%} \quad (12)$$

- in anderen Fällen:

$$\sigma(\text{CO}_2)_{W_{\text{c}},j} = \sigma(\text{CO}_2)_{W,j} \quad \text{Volumenanteil in \%}$$

Dabei ist

$\sigma(\text{CO}_2)_{W,j}$	der angegebene CO_2 -Gehalt des Abgases der Feuerstätte j	Volumenanteil in %;
$\sigma(\text{CO}_2)_{W_{\text{c}},j}$	der errechnete CO_2 -Gehalt des Abgases der Feuerstätte j	Volumenanteil in %;
f_{m1}, f_{m2}	Koeffizienten nach EN 13384-1;	
$\dot{m}_{W_{\text{c}},j}$	der errechnete Abgasmassenstrom der Feuerstätte j	in kg/s;
$\dot{m}_{W,j}$	der deklarierte Abgasmassenstrom der Feuerstätte j	in kg/s.

A_1 Zur Berechnung einer Unterdruck-Abgasanlage ist der Wert für den zulässigen Unterdruck an der Feuerstätte $P_{W_{\text{max}}}$ und zur Berechnung einer Überdruck-Abgasanlage der Wert für den erforderlichen Überdruck der Feuerstätte $P_{W_{\text{Omin}}}$ falls zutreffend beim Hersteller der Feuerstätte zu erfragen. A_1

7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück

Der mittlere Rauigkeitsbeiwert (r_j bzw. $r_{V,j}$) und der Wärmedurchlasswiderstand ($\left(\frac{1}{A}\right)_j$ bzw. $\left(\frac{1}{A}\right)_{V,j}$) müssen für jedes Verbindungsstück und für jeden Abschnitt der Abgasanlage bestimmt werden (siehe EN 13384-1:2002, 5.6.2).

8 Grundwerte für die Berechnung

Die Grundwerte für die Berechnung sind für jeden Abschnitt der Abgasanlage zu ermitteln, so weit im Folgenden nichts anders angegeben ist.

8.1 Lufttemperaturen

8.1.1 Außenlufttemperatur (T_L)

Zur Berechnung der Außenlufttemperatur (T_L) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.1.2; der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

8.1.2 Umgebungslufttemperatur (T_U)

Zur Berechnung der Umgebungslufttemperatur (T_U) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.1.3.

8.2 Außenluftdruck (p_L)

Zur Berechnung des Außenluftdruckes (p_L) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.2; der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

8.3 Gaskonstante

8.3.1 Gaskonstant der Luft (R_L)

Zur Berechnung der Gaskonstante der Luft (R_L) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.3.1; der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

8.3.2 Gaskonstante des Abgases (R)

Zur Berechnung der Gaskonstante des Abgases (R) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.3.2.

Die Mischungsgleichung ist nach Gleichung (19) zu berechnen.

8.4 Dichte der Außenluft (ρ_L)

Zur Berechnung der Dichte der Außenluft (ρ_L) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.4; der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

8.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases (c_p)

Zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazität des Abgases (c_p) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.5.

Die Mischungsgleichungen sind nach den Gleichungen (20), (21) und (22) zu berechnen.

8.6 Wasserdampfgehalt ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_j$) und Taupunkttemperatur (T_{sp})

Zur Berechnung des Wasserdampfgehaltes ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_j$) und der Taupunkttemperatur (T_{sp}) siehe EN 13384-1:2002, 5.7.6.

Die Mischungsgleichung ist nach Gleichung (18) zu berechnen.

8.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrschung (S_H)

Der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

A1) Zur Überprüfung der Bedingung für den Massenstrom und der Druckbedingung für den minimalen Unterdruck und maximalen Überdruck ist für jeden Abschnitt der Abgasanlage $S_H = 0,5$ zu verwenden; für den maximalen Unterdruck oder minimalen Überdruck muss der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrschung S_H gleich 1 sein. **A1)**

8.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl (S_E)

A1) Zur Berechnung des minimalen Unterdrucks von Unterdruck-Abgasanlagen ist eine strömungstechnische Sicherheitszahl $S_E = 1,5$ anzuwenden; wenn es sich allerdings um genau in ihrer Funktion überwachte Feuerstätten und Abgasanlagen sowie raumluftunabhängige Feuerstätten mit Gebläsebrennern handelt, ist ein Wert von 1,2 anzusetzen.

Zur Berechnung des maximalen Überdrucks von Überdruck-Abgasanlagen ist eine strömungstechnische Sicherheitszahl von $S_E = 1,2$ zu verwenden.

Für den Luftzuführungsschacht ist eine strömungstechnische Sicherheitszahl von $S_{EB} = 1,2$ zu verwenden.

Zur Berechnung des maximalen Unterdrucks oder minimalen Überdrucks müssen die strömungstechnischen Sicherheitszahlen S_E und S_{EB} gleich 1 sein. **A1)**

8.9 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient

Zur Berechnung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten siehe EN 13384-1:2002, 5.8.3.3.

9 Ermittlung der Temperaturen

Die im Folgenden aufgeführten Temperaturen sind nach EN 13384-1:2002, 5.8, zu berechnen:

- die errechnete Abgastemperatur der Feuerstätte ($T_{wc,j}$) unter Berücksichtigung der Kennlinien für die Feuerstätte (Gleichung (11)),
- die mittleren Abgastemperaturen in den Verbindungsstücken ($T_{mV,j}$),
- die Abgastemperaturen am Ende der Verbindungsstücke ($T_{oV,j}$),
- die Mischungstemperaturen am Eintritt in den Abschnitt einer Abgasanlage ($T_{e,j}$, Gleichung (7)),
- die mittleren Temperaturen in den Abschnitten der Abgasanlage ($T_{m,j}$),
- die Abgastemperaturen am Ende eines jeden Abschnittes einer Abgasanlage ($T_{o,j}$) und
- die Innenwandtemperaturen am Ende eines jeden Abschnittes einer Abgasanlage ($T_{io,j}$).

Die entsprechenden Gleichungen zur Berechnung der Temperaturen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der Massenstrom und der CO_2 -Gehalt des Abgases im Verbindungsstück werden mittels der Gleichungen (14) und (17) berechnet.

Tabelle 2 — Berechnung der Temperaturen

Bezeichnung	Gleichung	Einheit
mittlere Abgastemperatur im Verbindungsstück $T_{mV,j}$	$T_{mV,j} = T_{uV,j} + \frac{T_{Wc,j} - T_{uV,j}}{K_{V,j}} \cdot [1 - \exp(-K_{V,j})]$	K
Abgasaustrittstemperatur des Verbindungsstückes $T_{oV,j}$	$T_{oV,j} = T_{uV,j} + (T_{Wc,j} - T_{uV,j}) \cdot \exp(-K_{V,j})$	K
Abkühlzahl im Verbindungsstück $K_{V,j}$	$K_{V,j} = \frac{U_{V,j} \cdot k_{V,j} \cdot L_{V,j}}{\dot{m}_{V,j} \cdot c_{pV,j}}$	–
Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsstückes $k_{V,j}$ (Überprüfung des Massenstromes und der Druckbedingung)	$k_{V,j} = \left[\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + S_H \left[\left(\frac{1}{A} \right)_{V,j} + \left(\frac{D_{hV,j}}{D_{hVa,j} \cdot \alpha_{aV,j}} \right) \right] \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsstückes $k_{V,j}$ (Überprüfung der Temperaturbedingung)	$k_{V,j} = \left[\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + \left(\frac{1}{A} \right)_{V,j} + \left(\frac{D_{hV,j}}{D_{hVa,j} \cdot \alpha_{aV,j}} \right) \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Innerer Wärmeübergangskoeffizient des Verbindungsstückes $\alpha_{iV,j}$	$\alpha_{iV,j} = \max \left(\frac{\lambda_{AV,j} \cdot Nu_{V,j}}{D_{hV,j}}, 4 \right)$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Nusseltzahl $Nu_{V,j}$	$Nu_{V,j} = \left[\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right]_{V,j}^{0,67} \times 0,0214 \left(Re_{V,j}^{0,8} - 100 \right) \cdot Pr_{V,j}^{0,4} \left[1 + \left(\frac{D_{hV,j}}{L_{V,j}} \right)^{0,67} \right]$	–
Prandtlzahl $Pr_{V,j}$	$Pr_{V,j} = \frac{\eta_{AV,j} \cdot c_{pV,j}}{\lambda_{AV,j}}$	–
Reynoldszahl $Re_{V,j}$	$Re_{V,j} = \frac{w_{mV,j} \cdot D_{hV,j} \cdot \rho_{mV,j}}{\eta_{AV,j}}$	–
Mittlere Abgastemperatur $T_{m,j}$	$T_{m,j} = T_{u,j} + \frac{T_{e,j} - T_{u,j}}{K_{j}} \cdot [1 - \exp(-K_{j})]$	K
Abgasaustrittstemperatur des Abschnittes j einer Abgasanlage $T_{o,j}$	$T_{o,j} = T_{u,j} + (T_{e,j} - T_{u,j}) \cdot \exp(-K_{j})$	K
Abkühlzahl des Abschnittes j einer Abgasanlage K_{j}	$K_{j} = \frac{U_{j} \cdot k_{j} \cdot L_{j}}{m_{j} \cdot c_{p,j}}$	–

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Bezeichnung	Gleichung	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient k_{j} (Überprüfung des Massenstromes und der Druckbedingung)	$k_{j} = \left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + S_H \left[\left(\frac{1}{A} \right)_j + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j}} \right) \right] \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Wärmedurchgangskoeffizient k_{j} (Überprüfung der Temperaturbedingung)	$k_{j} = \left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \left(\frac{1}{A} \right)_j + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j}} \right) \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
innerer Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_{i,j}$	$\alpha_{i,j} = \max \left(\frac{\lambda_{A,j} \cdot Nu_{j}}{D_h}, 4 \right)$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Nusseltzahl Nu_{j}	$Nu_{j} = \left[\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right]_{V,j}^{0,67} \times 0,0214 \left(Re_{j}^{0,8} - 100 \right) \cdot Pr_{j}^{0,4} \left[1 + \left(\frac{D_{hV,j}}{L_{j}} \right)^{0,67} \right]$	–
Prandtlzahl Pr_{j}	$Pr_{j} = \frac{\eta_{A,j} \cdot c_{p,j}}{\lambda_{A,j}}$	–
Reynoldszahl Re_{j}	$Re_{j} = \frac{w_{m,j} \cdot D_{h,j} \cdot \rho_{m,j}}{\eta_{A,j}}$	–

10 Berechnung der Mischungsvorgänge

An der Stelle des Abgaseintrittes in den Abschnitt einer Abgasanlage muss die Abgastemperatur, der CO₂- und H₂O-Gehalt sowie die Gaskonstante und die spezifische Wärmekapazität berechnet werden.

10.1 Abgasmassenstrom (\dot{m}_{j})

Der Abgasmassenstrom \dot{m}_{j} im Abschnitt j der Abgasanlage wird mit den Gleichungen (13) und (14) berechnet:

$$\dot{m}_{j} = \dot{m}_{j-1} + \dot{m}_{V,j} \quad \text{in kg/s} \quad (13)$$

$$\dot{m}_{V,j} = \dot{m}_{Wc,j} \quad \text{in kg/s} \quad (14)$$

10.2 Abgastemperatur am Eintritt in einen Abschnitt einer Abgasanlage ($T_{e,j}$)

Die Abgastemperatur $T_{e,j}$ im Abschnitt j der Abgasanlage ist mit der Gleichung (15) zu berechnen. Um die Berechnung zu vereinfachen, darf angenommen werden, dass die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Verbindungsstück j und im davor befindlichen Abschnitt j–1 sich auf die mittlere Abgastemperatur beziehen.

$$T_{e,j} = \frac{\dot{m}_{j-1} c_{p,j-1} T_{o,j-1} + \dot{m}_{V,j} c_{pV,j} T_{oV,j}}{\dot{m}_{j-1} c_{p,j-1} + \dot{m}_{V,j} c_{pV,j}} \quad \text{in K} \quad (15)$$

10.3 CO₂-Gehalt des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage ($\sigma(\text{CO}_2)_j$)

Der CO₂-Gehalt $\sigma(\text{CO}_2)_j$ im Abschnitt j einer Abgasanlage wird nach Gleichung (16) berechnet:

$$\sigma(\text{CO}_2)_j = \frac{\dot{m}_{j-1}R_{j-1}[100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1}]\sigma(\text{CO}_2)_{j-1} + \dot{m}_{V,j}R_{V,j}[100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}]\sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}{\dot{m}_{j-1}R_{j-1}[100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1}] + \dot{m}_{V,j}R_{V,j}[100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}]}$$

Volumenanteil in % (16)

Der CO₂-Gehalt des Abgases im Verbindungsstück wird nach Gleichung (17) berechnet:

$$\sigma(\text{CO}_2)_{V,j} = \sigma(\text{CO}_2)_{Wc,j}$$

Volumenanteil in % (17)

10.4 H₂O-Gehalt des Abgases ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_j$)

Der H₂O-Gehalt $\sigma(\text{H}_2\text{O})_j$ im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach Gleichung (18) berechnet:

$$\sigma(\text{H}_2\text{O})_j = \frac{\dot{m}_{j-1}R_{j-1}\sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1} + \dot{m}_{V,j}R_{V,j}\sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}}{\dot{m}_{j-1}R_{j-1} + \dot{m}_{V,j}R_{V,j}}$$

Volumenanteil % (18)

$\sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}$ ist für alle Brennstoffe für die Feuerstätte j EN 13384-1:2002, Tabelle B.1, zu entnehmen.

10.5 Gaskonstante des Abgases (R_j)

Die Gaskonstante R_j im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach Gleichung (19) berechnet:

$$R_j = \frac{\dot{m}_{j-1}R_{j-1} + \dot{m}_{V,j}R_{V,j}}{\dot{m}_{j-1} + \dot{m}_{V,j}}$$

in J/(kg·K) (19)

$R_{V,j}$ ist für alle Brennstoffe für die Feuerstätte j EN 13384-1:2002, Tabelle B.1, zu entnehmen.

10.6 Stoffdaten

10.6.1 Spezifische Wärmekapazität ($c_{pV,j}$), ($c_{p,j}$)

Die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Verbindungsstück $c_{pV,j}$ wird nach Gleichung (20) berechnet:

$$c_{pV,j} = \frac{1011 + 0,05t_{mV,j} + 0,0003t_{mV,j}^2 + (f_{c0,j} + f_{c1,j} \cdot t_{mV,j} + f_{c2,j} \cdot t_{mV,j}^2)\sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}{1 + f_{c3,j} \cdot \sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}$$

in J/(kg·K) (20)

Die Faktoren $f_{c0,j}$, $f_{c1,j}$, $f_{c2,j}$ und $f_{c3,j}$ für die Bestimmung von $c_{pV,j}$ werden für alle Brennstoffarten für die Feuerstätte j EN 13384-1:2002, Tabelle B.1, entnommen.

Die spezifische Wärmekapazität $c_{p,j}$ des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach Gleichung (21) berechnet:

$$c_{p,j} = \frac{1011 + 0,05t_{m,j} + 0,0003t_{m,j}^2 + (f_{c0,j} + f_{c1,j} \cdot t_{m,j} + f_{c2,j} \cdot t_{m,j}^2)\sigma(\text{CO}_2)_j}{1 + f_{c3,j} \cdot \sigma(\text{CO}_2)_j}$$

in J/(kg·K) (21)

Die Faktoren $f_{ci,j}$ zur Bestimmung von $c_{p,j}$ werden nach folgender Gleichung ermittelt:

$$f_{ci,j} = \frac{1}{\sigma(\text{CO}_2)_j} \times \frac{\frac{\dot{m}_{j-1} \cdot f_{ci,j-1} \sigma(\text{CO}_2)_{j-1}}{1 + f_{c3,j-1} \sigma(\text{CO}_2)_{j-1}} + \frac{\dot{m}_{V,j} \cdot f_{ciV,j} \sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}{1 + f_{c3V,j} \sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}}{\frac{\dot{m}_{j-1}}{1 + f_{c3,j-1} \sigma(\text{CO}_2)_{j-1}} + \frac{\dot{m}_{V,j}}{1 + f_{c3V,j} \sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}} \quad \text{in J/(kg·K)} \quad (22)$$

Werden alle an der Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten mit dem gleichen Brennstoff betrieben, können die Faktoren $f_{ci,j}$ ($f_{c0,j}$, $f_{c1,j}$, $f_{c2,j}$ und $f_{c3,j}$) nach EN 13384-1:2002, Tabelle B.1, bestimmt werden.

10.6.2 Wärmeleitfähigkeit des Abgases ($\lambda_{AV,j}$), ($\lambda_{A,j}$)

Die Wärmeleitfähigkeit des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage $\lambda_{AV,j}$ und im Verbindungsstück j $\lambda_{A,j}$ werden mit folgenden Gleichungen ermittelt:

$$\lambda_{AV,j} = 0,022\ 3 + 0,000\ 065\ t_{mV,j} \quad \text{in W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad (23)$$

$$\lambda_{A,j} = 0,022\ 3 + 0,000\ 065\ t_{m,j} \quad \text{in W/(m}^2\cdot\text{K)} \quad (24)$$

10.6.3 Dynamische Viskosität ($\eta_{AV,j}$), ($\eta_{A,j}$)

Die dynamischen Viskositäten $\eta_{AV,j}$ und $\eta_{A,j}$ werden mit folgenden Gleichungen ermittelt:

$$\eta_{AV,j} = 15 \times 10^{-6} + 47 \times 10^{-9} t_{mV,j} - 20 \times 10^{-12} t_{mV,j}^2 \quad \text{in Ns/m}^2 \quad (25)$$

$$\eta_{A,j} = 15 \times 10^{-6} + 47 \times 10^{-9} t_{m,j} - 20 \times 10^{-12} t_{m,j}^2 \quad \text{in Ns/m}^2 \quad (26)$$

Legende für die Gleichungen in Abschnitt 10

$c_{p,j}$	die spezifische Wärmekapazität im Abschnitt j einer Abgasanlage	in J/(kg·K);
$c_{pV,j}$	die spezifische Wärmekapazität im Verbindungsstück j	in J/(kg·K);
$f_{ci,j}$	Faktoren zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität für die Feuerstätte j (siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.1)	–;
\dot{m}_{j-1}	der Abgasmassenstrom im Abschnitt j–1 einer Abgasanlage	in kg/s;
$\dot{m}_{V,j}$	der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j	in kg/s;
R_{j-1}	die spezifische Gaskonstante des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage	in J/(kg·K);
$R_{V,j}$	die spezifische Gaskonstante des Abgases im Verbindungsstück j	in J/(kg·K);
$t_{m,j}$	die mittlere Temperatur des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage	in °C;
$t_{mV,j}$	die mittlere Temperatur des Abgases im Verbindungsstück j	in °C;
$t_{o,j-1}$	die Abgasaustrittstemperatur am Ende des Abschnittes j–1 einer Abgasanlage	in K;

$T_{0V,j-1}$	die Temperatur des Abgases am Ende des Verbindungsstückes j	in K;
$\alpha(\text{CO}_2)_j$	die Volumenkonzentration CO_2 im Abschnitt j der Abgasanlage	Volumenanteil in %;
$\alpha(\text{CO}_2)_{j-1}$	die Volumenkonzentration CO_2 im Abschnitt j-1 der Abgasanlage	Volumenanteil in %;
$\alpha(\text{CO}_2)_{V,j}$	Volumenkonzentration CO_2 im Verbindungsstück j	Volumenanteil in %;
$\alpha(\text{H}_2\text{O})_{j-1}$	Volumenkonzentration H_2O im Abschnitt j-1 der Abgasanlage	Volumenanteil in %;
$\alpha(\text{H}_2\text{O})_{V,j}$	die Volumenkonzentration H_2O im Verbindungsstück j	Volumenanteil in %.

11 Dichte und Geschwindigkeiten des Abgases

Die mittlere Dichte des Abgases $\rho_{m,j}$ im Abschnitt der Abgasanlage wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\rho_{m,j} = \frac{p_L}{R_j \cdot T_{m,j}} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (27)$$

Die mittlere Geschwindigkeit $w_{m,j}$ des Abgases im Abschnitt einer Abgasanlage wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$w_{m,j} = \frac{\dot{m}_j}{A_j \cdot \rho_{m,j}} \quad \text{in m/s} \quad (28)$$

Die mittlere Dichte $\rho_{mV,j}$ des Abgases im Verbindungsstück wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\rho_{mV,j} = \frac{p_L}{R_{V,j} \cdot T_{mV,j}} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (29)$$

Die mittlere Geschwindigkeit $w_{mV,j}$ des Abgases im Verbindungsstück wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$w_{mV,j} = \frac{\dot{m}_{V,j}}{A_{V,j} \cdot \rho_{mV,j}} \quad \text{in kg/m}^3 \quad (30)$$

Legende für die Gleichungen in Abschnitt 11:

A_j	die Querschnittsfläche des Abschnittes j der Abgasanlage	in m^2 ;
$A_{V,j}$	die Querschnittsfläche des Verbindungsstückes j	in m^2 ;
\dot{m}_j	der Abgasmassenstrom des Abschnittes j der Abgasanlage	in kg/s;
$\dot{m}_{V,j}$	der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j	in kg/s;
p_L	der Außenluftdruck	in Pa;
R_j	die spezifische Gaskonstante des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$;

$R_{V,j}$	die spezifische Gaskonstante des Abgases im Verbindungsstück j	in J/(kg·K);
$T_{m,j}$	die mittlere Temperatur des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
$T_{mV,j}$	die mittlere Temperatur des Abgases im Verbindungsstück j	in K;
$\rho_{m,j}$	die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/m ³ ;
$\rho_{mV,j}$	die mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück j	in kg/m ³ .

12 **A1** Bestimmung der Drücke **A1**

12.1 **A1** Drücke an jeder Abgaseinführung in die Abschnitte der Abgasanlage **A1**

12.1.1 **A1** Unterdruck

Der kleinste und maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage ($P_{Z,j}$ und $P_{Zmax,j}$) ergibt sich aus der Differenz der aufsummierten Ruhedrucke und der aufsummierten Widerstandsdrücke aller Abschnitte der Abgasanlage, die über der Abgaseinführung liegen und ist mit Hilfe der Gleichungen (2) und (6a) zu berechnen. **A1**

12.1.2 **A1** Überdruck

Der maximale und kleinste Überdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage ($P_{ZO,j}$ und $P_{ZOmin,j}$) ergibt sich aus der Differenz der aufsummierten Widerstandsdrücke und der aufsummierten Ruhedrucke aller Abschnitte der Abgasanlage, die über der Abgaseinführung liegen und ist mit Hilfe der Gleichungen (3b) und (6d) zu berechnen. **A1**

A1 12.1.3 **A1** Ruhedruck in einem Abschnitt der Abgasanlage ($P_{H,j}$)

Der Ruhedruck $P_{H,j}$ im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{H,j} = H_{,j} \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{m,j}) \quad \text{in Pa} \quad (31)$$

Dabei ist

$H_{,j}$	die senkrechte Höhe des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
g	die Erdbeschleunigung = 9,81	m/s ² ;
ρ_L	die Dichte der Außenluft	in kg/m ³ ;
$\rho_{m,j}$	die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/m ³ .

A1 12.1.4 **A1** Widerstandsdruck im Abschnitt j der Abgasanlage ($P_{R,j}$)

A1 12.1.4.1 Allgemeines **A1**

Der Widerstandsdruck $P_{R,j}$ im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{R,j} = S_E \left(\psi_{,j} \frac{L_{,j}}{D_h} + \sum \zeta_{,j} \right) \frac{\rho_{m,j}}{2} w_{m,j}^2 + S_{EM,j} P_{13,j} + S_{EG,j} P_{G,j} \quad \text{in Pa} \quad (32)$$

Dabei ist

$P_{G,j}$	die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung vom Abschnitt j zum Abschnitt j + 1 der Abgasanlage	in Pa;
$P_{13,j}$	die Druckänderung durch Mischung im Bereich der Abgaseinführung in den Abschnitt j + 1 der Abgasanlage	in Pa;
S_E	die strömungstechnische Sicherheitszahl	—;
$S_{EG,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases ($S_{EG,j} = S_E$ für $P_{G,j} \geq 0$; $S_{EG,j} = 1,0$ für $P_{G,j} < 0$)	—;
$S_{EM,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Vorbeiströmen an einem Abzweig ($S_{EM,j} = S_E$ für $P_{13,j} \geq 0$; $S_{EM,j} = 1,0$ für $P_{13,j} < 0$)	—;
ψ_j	die Rohrreibungszahl der Abgasleitung des Abschnittes der Abgasanlage	—;
L_j	die Länge	in m;
$D_{h,j}$	der innere hydraulischer Durchmesser	in m;
$\sum \zeta_j$	die Summe der Einzelwiderstandszahlen des Abschnittes der Abgasanlage	—;
$\rho_{m,j}$	die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt der Abgasanlage	in kg/m ³ ;
$w_{m,j}$	die mittlere Geschwindigkeit der Abgase im Abschnitt der Abgasanlage	in m/s.

12.1.4.2 \square Durchschnittlicher Rauigkeitsbeiwert für die Innenwand (für den Abschnitt der Abgasanlage und das Verbindungsstück)

Zur Berechnung des durchschnittlichen Rauigkeitsbeiwertes für die Innenwand (Abschnitt der Abgasanlage und Verbindungsstück) siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.4.

12.1.4.3 \square Einzelwiderstandszahlen

Zur Berechnung der Einzelwiderstandszahlen siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.7.

12.1.4.4 \square Druckänderung im Abgas durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases

Zur Berechnung der Druckänderung im Abgas durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases siehe EN 13384-1:2002, 5.10.

Die Druckänderung $P_{G,j}$ des Abschnittes j zu j + 1 der Abgasanlage wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$P_{G,j} = \frac{\rho_{m,j+1}}{2} \cdot w_{m,j+1}^2 - \frac{\rho_{m,j}}{2} \cdot w_{m,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad (33)$$

Dabei ist

$\rho_{m,j}$ die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage in kg/m^3 ;

$w_{m,j}$ die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage in m/s.

Beim letzten Abschnitt der Abgasanlage (Austritt der Abgasanlage):

$$P_{G,N} = 0$$

A1) 12.1.4.5 A1) Druckverlust wegen Mischung an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage (P_{13})

Die Druckänderung durch Mischung an einer Abgaseinführung $P_{13,j}$ wird dem Abschnitt j vor der Abgaseinführung zugerechnet und nach folgender Gleichung bestimmt (siehe Bild 3):

$$P_{13,j} = \zeta_{13,j+1} \times \frac{\rho_{m,j+1}}{2} \cdot w_{m,j+1}^2 \quad \text{in Pa} \quad (34)$$

$$\zeta_{13,j+1} = 0,03 \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j+1}}{\dot{m}_{j+1}} \right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_{V,j+1}}{\dot{m}_{j+1}} \right)^2 \left[1 + 1,162 \left[\left(\frac{A}{A_{V,j+1}} \right) \cos \gamma_j - 1 \right] - 0,38 \left(1 - \left(\frac{A}{A_{V,j+1}} \right)^{-1} \right) \right] + \left[2 - \left(\frac{A}{A_{V,j+1}} \right)^{-1} \right] \cdot \frac{\dot{m}_{V,j+1}}{\dot{m}_{j+1}} \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j+1}}{\dot{m}_{j+1}} \right) \quad (35)$$

Gleichung (35) gilt nur, wenn sich der Durchmesser der Abgasanlage nicht verändert

$$\text{mit } \frac{A}{A_{V,j+1}} \geq 1; \quad 0 \leq \frac{\dot{m}_{V,j+1}}{\dot{m}_{j+1}} \leq 1,0; \quad 0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$$

Für $\frac{A}{A_{V,j+1}} < 1$ kann die Widerstandszahl an der Stelle der Beimischung als Summe der Einzelwiderstandszahlen der entsprechenden Querschnitte angesehen werden (siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.8, Form Nr 6 bzw. 8) und wenn an der Stelle der Beimischung $\frac{A}{A_{V,j+1}} = 1$ gilt.

Dabei ist

A die lichte Querschnittsfläche der Abgasanlage in m^2 ;

$A_{V,j+1}$ die lichte Querschnittsfläche des Verbindungsstückes j+1 in m^2 ;

γ_{j+1} der Einführungswinkel des Verbindungsstückes j+1 in den Abschnitt j+1 der Abgasanlage in $^\circ$;

$\zeta_{13,j+1}$ die Einzelwiderstandszahl an der Stelle der Einführung des Verbindungsstückes j+1 in den Abschnitt j+1 der Abgasanlage;

$\rho_{m,j+1}$ die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j+1 der Abgasanlage in kg/m^3 ;

- $w_{m,j+1}$ die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Abschnitt j+1 der Abgasanlage in m/s;
- $\dot{m}_{V,j+1}$ der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j+1 in kg/s;
- \dot{m}_{j+1} der Abgasmassenstrom im Abschnitt j+1 der Abgasanlage in kg/s.

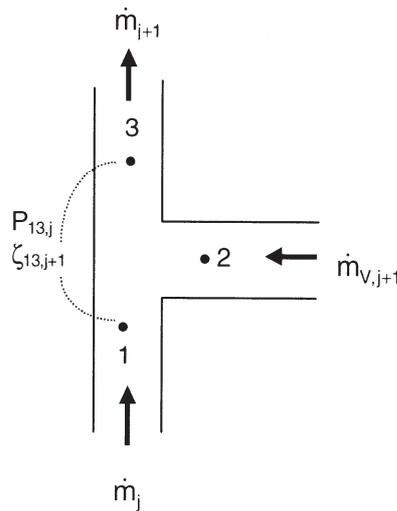


Bild 3 — Druckverlust durch Mischung an der Abgaseinführung in den Abschnitt j+1 der Abgasanlage

Die Widerstandszahlen, die in dieser Berechnung verwendet werden, beruhen auf der Annahme, dass zwischen den einzelnen Punkten von Abgasmassenstromeinführungen in der Abgasanlage keine Störungen des Abgasmassenstromes auftreten.

Störungen könnten auftreten bei Unterbrechungen oder Richtungsänderungen des Abgasmassenstromes.

12.2 A1 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}) A1

A1 12.2.1 Notwendiger und zulässiger Unterdruck

Der notwendige Unterdruck $P_{Ze,j}$ am Austritt des Verbindungsstückes j ist die Summe aus dem errechneten Förderdruck $P_{Wc,j}$ der Feuerstätte j, dem errechneten Widerstandsdruck des Verbindungsstückes $P_{V,j}$ sowie dem errechneten Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ und ist mittels Gleichung (3) zu berechnen.

Der zulässige Unterdruck $P_{Zemax,j}$ an dem Austritt des Verbindungsstückes j ist die Summe aus dem errechneten Förderdruck $P_{Wc,j}$ der Feuerstätte j, dem errechneten Widerstandsdruck des Verbindungsstückes $P_{V,j}$ sowie dem errechneten Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ und ist mittels Gleichung (6a) zu berechnen.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{Wc,j}$, $P_{V,j}$ und $P_{Bc,j}$ in den Gleichungen (3) und (6a) können sich unterscheiden, da die Bedingungen unterschiedlich sind.

12.2.2 Maximal nutzbarer und erforderlicher Überdruck

Der maximal nutzbare Überdruck $P_{ZOe,j}$ am Austritt des Verbindungsstückes j ist die Differenz aus dem errechneten zur Verfügung stehenden Förderdruck $P_{WOC,j}$ der Feuerstätte j und der Summe des errechneten Widerstandsdruckes des Verbindungsstückes $P_{V,j}$ und dem errechneten Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ und ist mittels Gleichung (3c) zu berechnen.

Der erforderliche Überdruck $P_{ZOemin,j}$ am Austritt des Verbindungsstückes j ist die Differenz aus dem errechneten zur Verfügung stehenden Förderdruck $P_{WOC,j}$ der Feuerstätte j und der Summe des errechneten Widerstandsdruckes des Verbindungsstückes $P_{V,j}$ und dem errechneten Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ und ist mittels Gleichung (6d) zu berechnen.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{Wc,j}$, $P_{V,j}$ und $P_{Bc,j}$ in den Gleichungen (3c) und (6d) können sich unterscheiden, da die Bedingungen unterschiedlich sind. \triangleleft

\triangleleft 12.2.3 \triangleleft Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück ($P_{V,j}$)

\triangleleft 12.2.3.1 Allgemeines \triangleleft

Der vorhandene Förderdruck für das Verbindungsstück $P_{V,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{V,j} = P_{RV,j} - P_{HV,j} \quad \text{in Pa} \quad (36)$$

\triangleleft 12.2.3.2 \triangleleft Ruhedruck im Verbindungsstück ($P_{HV,j}$)

Zur Berechnung des Ruhedruckes im Verbindungsstück ($P_{HV,j}$) siehe EN 13384-1:2002, 5.11.3.2.

\triangleleft 12.2.3.3 \triangleleft Widerstandsdruck im Verbindungsstück ($P_{RV,j}$)

Der Widerstandsdruck im Verbindungsstück $P_{RV,j}$ wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$P_{RV,j} = S_E \left[\left(\psi_{V,j} \frac{L_{V,j}}{D_{hV,j}} + \sum \zeta_{V,j} \right) \frac{\rho_{mV,j}}{2} w_{mV,j}^2 \right] + S_{EMV,j} P_{23,j} + S_{EGV,j} P_{GV,j} \quad \text{in Pa} \quad (37)$$

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Verbindungsstück j $P_{GV,j}$ zum Abschnitt j der Abgasanlage wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$P_{GV,j} = \frac{\rho_{m,j}}{2} \cdot w_{m,j}^2 - \frac{\rho_{mV,j}}{2} \cdot w_{mV,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad (38)$$

Dabei ist

- S_E die strömungstechnische Sicherheitszahl;
- $S_{EGV,j}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases
 $S_{EGV,j} = S_E$ für $P_{GV,j} \geq 0$; $S_{EGV,j} = 1,0$ für $P_{GV,j} < 0$;
- $S_{EMV,j}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für $P_{23,j}$ ($S_{EMV,j} = S_E$ für $P_{23,j} \geq 0$; $S_{EMV,j} = 1,0$ für $P_{23,j} < 0$);
- $\psi_{V,j}$ die Rohrreibungszahl des Verbindungsstückes j ;

$L_{V,j}$	die Länge des Verbindungsstückes j	in m;
$D_{hV,j}$	der innere hydraulische Durchmesser des Verbindungsstückes	in m;
$\Sigma\zeta_{V,j}$	die Summe der Einzelwiderstandszahlen des Verbindungsstückes (ohne Berücksichtigung der Mischungseffekte am Eintritt in den Abschnitt der Abgasanlage);	
$\rho_{mV,j}$	die mittlere Dichte der Abgassäule im Verbindungsstück	in kg/m ³ ;
$w_{mV,j}$	die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück	in m/s.

Die Druckänderung durch Umlenkung und Mischung im Bereich der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasleitung $P_{23,j}$ wird mit folgender Gleichung berechnet (siehe Bild 4):

$$P_{23,j} = \zeta_{23,j} \cdot \frac{\rho_{m,j}}{2} \cdot w_{m,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad (39)$$

$$\zeta_{23,j} = -0,92 \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j}}{\dot{m}_j} \right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_{V,j}}{\dot{m}_j} \right)^2 \cdot \left[1,2 \left(\frac{A}{A_{V,j}} \cos \gamma_{j,j} - 1 \right) + 0,8 \left(1 - \left(\frac{A}{A_{V,j}} \right)^2 \right) - \left(1 - \left(\frac{A}{A_{V,j}} \right)^{-1} \right) \cdot \frac{A}{A_{V,j}} \cdot \cos \gamma_{j,j} \right] + \left(2 - \left(\frac{A}{A_{V,j}} \right)^{-1} \right) \cdot \frac{\dot{m}_{V,j}}{\dot{m}_j} \cdot \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j}}{\dot{m}_j} \right) \quad (40)$$

mit $\frac{A}{A_{V,j}} \geq 1; 0 \leq \frac{\dot{m}_{V,j}}{\dot{m}_j} \leq 1, 0^\circ < \gamma \leq 90^\circ$

Für $\frac{A}{A_{V,j}} < 1$ kann die Widerstandszahl an der Stelle der Beimischung als Summe der Einzelwiderstandszahlen der entsprechenden Querschnitte angesehen werden (siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.8, Form Nr 6 bzw. 8) und wenn an der Stelle der Beimischung $\frac{A}{A_{V,j}} = 1$ gilt.

Dabei ist

$\zeta_{23,j}$	der Einzelwiderstandszahl für Umlenkung und Mischung an der Abgasleitung vom Verbindungsstück in den Abschnitt j der Abgasleitung;	
$\rho_{m,j}$	die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/m ³ ;
$w_{m,j}$	die mittlere Abgasgeschwindigkeit im Abschnitt j der Abgasanlage	in m/s;
$\dot{m}_{V,j}$	der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j	in kg/s;
\dot{m}_j	der Abgasmassenstrom im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/s;
$A_{V,j}$	die lichte Querschnittsfläche des Verbindungsstückes j	in m ² ;

- A die lichte Querschnittsfläche des Abschnittes der Abgasanlage in m^2 ;
- γ_j der Eintrittswinkel des Verbindungsstückes in den Abschnitt der Abgasanlage in $^\circ$.

Die Widerstandszahlen, die in dieser Berechnung verwendet werden, beruhen auf der Annahme, dass zwischen den einzelnen Punkten von Abgasmassenstromeinführungen in der Abgasanlage keine Störungen des Abgasmassenstromes auftreten.

Dies darf dadurch erreicht werden, dass die Punkte der Abgaszusammenführung entsprechend voneinander getrennt sind oder durch Verwendung von Abgasstrom-Abweisblechen.

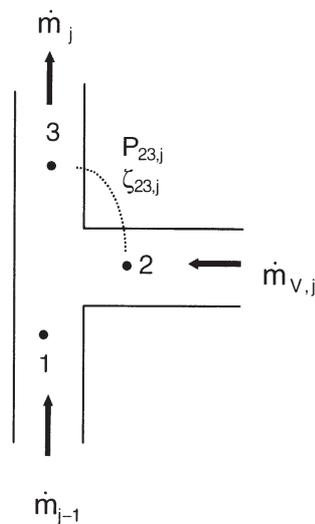


Bild 4 — Druckverlust P_{23j} infolge Richtungsänderung des Abgasmassenstromes und Beimischung im Bereich der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage

A1 12.2.3.4 **A1** Einzelwiderstandszahl (ζ)

Zur Berechnung der Einzelwiderstandszahlen (ζ) siehe EN 13384-1:2002, 5.10.3.3.

A1 Werte für Geräte, die die Feuerstätte sicher absperren, um einen Abgasrückfluss zu verhindern, müssen vom Gerätehersteller geliefert werden. **A1**

A1 12.2.4 Errechneter Förderdruck für die Zuluft ($P_{Bc,j}$) **A1**

A1 gestrichener Text **A1**

Der Förderdruck für die Zuluft ($P_{B,j}$) wird nach EN 13384-1:2002, 5.11.4, berechnet.

A1 gestrichener Text **A1**

Der errechnete Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ wird mit folgender Gleichung ermittelt:

$$P_{Bc,j} = P_{B,j} \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^n \quad \text{in Pa} \quad (41)$$

Dabei ist

- $P_{B,j}$ der notwendige, planmäßige Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j in Pa;
- $\dot{m}_{Wc,j}$ der vorhandene Abgasmassenstrom für die Feuerstätte j in g/s;
- $\dot{m}_{W,j}$ der deklarierte Abgasmassenstrom für die Feuerstätte j in g/s;
- n der Exponent für die Art der Zuluftzuführung: –
- ist eine Öffnung vorhanden (z. B. Heizraum mit Zuluftöffnung): $n = 2$;
- sind Fugen vorhanden (z. B. Fensterrahmen in Aufenthaltsräumen): $n = 1,5$.

Wenn in einem Aufenthaltsraum mehrere Feuerstätten an einen Abschnitt einer Abgasanlage angeschlossen sind, ist die Summe der Abgasmassenströme in die Gleichung (41) für $\dot{m}_{Wc,j}$ und $\dot{m}_{W,j}$ einzusetzen.

13 Innenwandtemperatur

Die Innenwandtemperatur $T_{iob,j}$ eines Abschnittes j der Abgasanlage wird analog EN 13384-1:2002, 5.12, unter Verwendung der Gleichungen in Tabelle 3 berechnet.

Tabelle 3 — Gleichungen zur Berechnung der Innenwandtemperaturen am Ende des Abschnittes der Abgasanlage

Bezeichnung	Gleichung	Einheit
Wärmedurchgangskoeffizient am Abgasanlagenabschnitt, oben, $k_{ob,j}$	$k_{ob,j} = \left(\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_{,j} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_{o,j} + \frac{D_h}{D_{hao,j} \cdot \alpha_{ao,j}} \right)^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Abgastemperatur an der Innenwand $T_{iob,j}$	$T_{iob,j} = T_{ob,j} - \frac{k_{ob,j}}{\alpha_{i,j}} \cdot (T_{ob,j} - T_{uo,j})$ mit $T_{uo,j}$ siehe Tabelle 2	K
Abschnitt $j < N$	$\alpha_{ao,j} = 23$ wenn alle Teile eines Abschnittes einer Abgasanlage im Außenbereich liegen $\alpha_{ao,j} = 8$ wenn der Abschnitt der Abgasanlage vollständig im Gebäude liegt $(1/\Lambda)_{o,j} = 0$ wenn die Dämmung nicht im gesamten Abschnitt der Abgasanlage gegeben ist	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Abschnitt $j = N$	Im Falle von hinterlüfteten Verkleidungen mit Luftschlitzen von 1 cm bis 5 cm darf $\alpha_{ao} = 8$ angesetzt werden. $\alpha_{ao,j} = 23$ in allen anderen Fällen, bei unverkleidetem Schornsteinkopf oder rechen technischer Berücksichtigung des zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstandes eines gedämmten Schornsteinkopfes $(1/\Lambda)_{o,j} =$ Bestimmung nach EN 13384-1:2002, A.1	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$

14 Kaskadenschaltungen

14.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

Die Berechnung basiert auf der Ermittlung der Massenstromverteilung im Sammler, dabei muss die Druckbedingung an jedem Abgaseintritt in den Abschnitt des Sammlers erfüllt sein (Gleichung (42)). Wenn eine derartige Verteilung ermittelt wurde, muss die Erfüllung der folgenden drei Bedingungen nachgewiesen werden:

- 1) die Bedingung für den Massenstrom (Gleichungen (45) und (46));
- 2) A1 die Druckbedingung für den minimalen Unterdruck oder den maximalen Überdruck (Gleichung (47) oder (47b) und (47c));
- 3) die Druckbedingung für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck (Gleichung (47a) oder (47d));
- 4) die Temperaturbedingung (Gleichung (48)). A1

Es wird angenommen, dass die Ausführung der Zuluftzuführung und Austritt der Abgasanlage so erfolgte, dass Wiedereinflüsse gering sind. Damit kann $P_L = 0$ angesetzt werden und braucht in den Gleichungen nicht berücksichtigt werden.

14.2 Druckbedingung

A1 14.2.1 Unterdruck-Kaskadenschaltung A1

Die folgenden Gleichungen müssen für jeden Abschnitt j,l des Sammlers bei allen Betriebsbedingungen erfüllt sein:

$$\left| P_{ZC,j,l} - P_{ZeC,j,l} \right| \leq 0,1 \quad \text{in Pa} \quad (42)$$

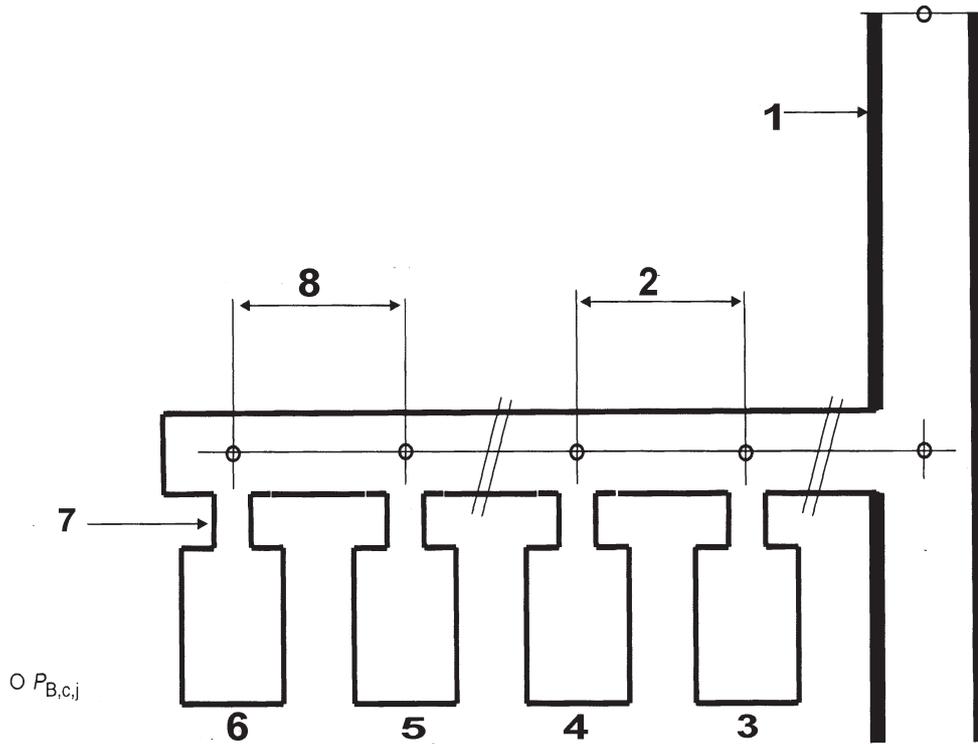
$$P_{ZC,j,l} = P_{Z,j} + \sum_{n=l}^{NCj} (P_{HC,j,n} - P_{RC,j,n}) \quad \text{in Pa} \quad (43)$$

$$P_{ZeC,j,l} = P_{Wc,j,l} + P_{V,j,l} + P_{Bc,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (44)$$

Dabei ist

$P_{ZC,j,l}$	der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j,l des Sammlers	in Pa;
$P_{HC,j,n}$	der Ruhedruck im Abschnitt j,n des Sammlers	in Pa;
$P_{RC,j,n}$	der Widerstandsdruck im Abschnitt j,n des Sammlers	in Pa;
$P_{Wc,j,l}$	der errechnete Förderdruck der Feuerstätte j,l	in Pa;
$P_{V,j,l}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes der Feuerstätte j,l	in Pa;
$P_{Bc,j,l}$	der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j,l	in Pa;

- $P_{ZeC,j,l}$ der notwendige Förderdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;
- $P_{Z,j}$ der Förderdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;
- NC_j die Anzahl der an den Sammler j angeschlossenen Feuerstätten.



Legende

- 1 Abgasanlage
- 2 Sammlerabschnitt j,l
- 3 Feuerstätte j,l+1
- 4 Feuerstätte j,p
- 5 Feuerstätte j,2
- 6 Feuerstätte j,1
- 7 Verbindungsstück
- 8 Sammlerabschnitt j,1

Bild 5 — Beispiel für eine Kaskadenschaltung und Benummerung der Feuerstätten und Sammlerabschnitte

A1 14.2.2 Überdruck-Kaskadenschaltung

Die folgenden Gleichungen müssen für jeden Abschnitt j,l bei allen Betriebsbedingungen erfüllt sein:

$$|P_{ZOeC,j,l} - P_{ZOC,j,l}| \leq 0,1 \quad \text{in Pa} \quad (44a)$$

$$P_{ZOC,j,l} = P_{ZO,j} + \sum_{n=1}^{NCj} (P_{RC,j,n} - P_{HC,j,n}) \quad \text{in Pa} \quad (44b)$$

$$P_{ZOeC,j,l} = P_{WOc,j,l} + P_{V,j,l} - P_{Bc,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (44c)$$

Dabei ist

$P_{ZOC,j,l}$ der Überdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

$P_{HC,j,n}$ der Ruhedruck im Abschnitt j,n des Sammlers in Pa;

$P_{RC,j,n}$ der Widerstandsdruck im Abschnitt j,n des Sammlers in Pa;

$P_{WOc,j,l}$ der errechnete zur Verfügung stehende Förderdruck der Feuerstätte j,l in Pa;

$P_{V,j,l}$ der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes der Feuerstätte j,l in Pa;

$P_{Bc,j,l}$ der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j,l in Pa;

$P_{ZOeC,j,l}$ der maximal nutzbare Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

$P_{ZO,j}$ der maximale Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

NCj die Anzahl der Feuerstätten des Sammlers j. **A1**

14.3 Bedingungen für den Massenstrom

Gleichung (45) bzw. Gleichung (46) müssen für alle Betriebsbedingungen (siehe 5.6) für alle in Betrieb befindlichen Feuerstätten bei Nennwärmeleistung oder kleinster Leistung erfüllt sein:

$$\dot{m}_{Wc,j,l} \geq \dot{m}_{W,j,l} \quad \text{in kg/s} \quad (45)$$

und für alle außer Betrieb befindlichen Feuerstätten gilt:

$$\dot{m}_{Wc,j,l} \geq 0 \quad \text{in kg/s} \quad (46)$$

Dabei ist

$\dot{m}_{Wc,j,l}$ der errechnete Abgasmassenstrom der Feuerstätte j,l in kg/s;

$\dot{m}_{W,j,l}$ der angegebene Abgasmassenstrom der Feuerstätte j,l in kg/s.

Ist eine Abgasklappe eingebaut, so ist der Widerstandsdruck des Abgasmassenstromes mit 0 anzunehmen, wenn nicht genauere Daten zur Verfügung stehen.

14.4 **A1** Druckbedingungen **A1**

A1 14.4.1 Unterdruck-Abgasanlagen **A1**

A1 Bei Unterdruck-Kaskadenschaltungen muss zusätzlich geprüft werden, ob **A1** der Unterdruck ($P_{ZC,j,l}$) im Sammler größer oder gleich dem Unterdruck im Aufstellraum der Feuerstätte ist bei berechenbaren Verhältnissen des Förderdruckes für die Zuluft. Die Überprüfung der Druckbedingung ist mit den gleichen Bedingungen durchzuführen wie sie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom gelten (siehe 14.3 und 14.6).

$$P_{ZC,j,l} \geq P_{Bc,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (47)$$

Dabei ist

$P_{ZC,j,l}$ der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt j,l in Pa;

$P_{Bc,j,l}$ der errechnete Förderdruck der Zuluft für die Feuerstätte j,l
 (siehe **A1** 12.2.4 **A1**) in Pa.

A1 Falls erforderlich, muss zusätzlich überprüft werden, ob der Unterdruck (Zug) im Sammler ($P_{ZCmax,j,l}$) kleiner oder gleich dem durch die Feuerstätte verursachten zulässigen Unterdruck ($P_{ZeCmax,j,l}$) ist. Der Zusammenhang (47a) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen.

$$P_{ZCmax,j,l} = P_{Z,j} + \sum_{n=1}^{NCj} (P_{HC,j,n} - P_{RC,j,n}) \leq P_{Wmax,j,l} + P_{V,j,l} + P_{Bc,j,l} = P_{ZeCmax,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (47a)$$

Dabei ist

$P_{ZCmax,j,l}$ der maximal zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

$P_{Z,j}$ der Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{HC,j,n}$ der Ruhedruck im Abschnitt j,n des Sammlers in Pa;

$P_{RC,j,n}$ der Widerstandsdruck im Abschnitt j,n des Sammlers in Pa;

$P_{Wmax,j,l}$ der zulässige Unterdruck der Feuerstätte j,l in Pa;

$P_{V,j,l}$ der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes der Feuerstätte j,l in Pa;

$P_{Bc,j,l}$ der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j,l (siehe 12.2.4) in Pa;

$P_{ZeCmax,j,l}$ der maximal zulässige Unterdruck an der Abgaseinführung
in den senkrechten Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

NC_j die Anzahl der Feuerstätte des Sammlers j.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{HC,j,n}$ und $P_{RC,j,n}$ in den Gleichungen (43) und (47a) unterscheiden sich gewöhnlich, da die Bedingungen unterschiedlich sind.

14.4.2 Überdruck-Abgasanlagen

Bei Überdruck-Kaskadenschaltungen muss zusätzlich überprüft werden, ob der maximale Überdruck im Verbindungsstück und im Sammler nicht höher als der Überdruck ist, für den beide bestimmt sind. Die Überprüfung der Druckbedingung ist mit den gleichen Bedingungen durchzuführen wie sie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom festgelegt wurden (siehe 14.3 und 14.6). Folgende Zusammenhänge müssen verifiziert werden:

$$P_{ZOC,j} \leq P_{ZC \text{ excess}} \quad \text{in Pa} \quad (47b)$$

$$P_{ZOC,j} + P_{V,j,l} \leq P_{ZV \text{ excess}} \quad \text{in Pa} \quad (47c)$$

Dabei ist

$P_{ZOC,j}$ der Überdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten
Abschnitt j der Abgasanlage in Pa;

$P_{V,j,l}$ der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes
des Abschnittes j,l des Sammlers in Pa;

$P_{ZC \text{ excess}}$ der maximal zulässige Druck entsprechend der Kennzeichnung
des Sammlers in Pa;

$P_{ZV \text{ excess}}$ der maximal zulässige Druck entsprechend der Kennzeichnung
des Verbindungsstückes in Pa.

Falls erforderlich, muss zusätzlich überprüft werden, ob der Überdruck im Sammler ($P_{ZOCmin,j,l}$) größer oder gleich dem durch die Feuerstätte verursachten zulässigen minimalen Überdruck ($P_{ZOCemin,j,l}$) ist. Der Zusammenhang (47d) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen.

$$P_{ZOCmin,j,l} = P_{ZO,j} + \sum_{n=1}^{NC_j} (P_{RC,j,n} - P_{HC,j,n}) \geq P_{W0min,j,l} - P_{Bc,j,l} - P_{V,j,l} = P_{ZOCemin,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (47d)$$

Dabei ist

$P_{ZOCmin,j,l}$ der minimale Überdruck an der Abgaseinführung
in den Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

$P_{ZOCemin,j,l}$ der erforderliche Überdruck an der Abgaseinführung
in den senkrechten Abschnitt j,l des Sammlers in Pa;

$P_{HC,j,n}$ der Ruhedruck im Abschnitt j,n des Sammlers in Pa;

$P_{RC,j,n}$	der Widerstandsdruck im Abschnitt j,n des Sammlers	in Pa;
$P_{W0min,j,l}$	der erforderliche Überdruck an der Feuerstätte j,l	in Pa;
$P_{BC,j,l}$	der errechnete Förderdruck für die Zuluft für die Feuerstätte j,l	in Pa;
$P_{Vj,l}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes des Abschnitts j,l des Sammlers	in Pa.

ANMERKUNG Die Werte für $P_{HC,j,n}$ und $P_{RC,j,n}$ in den Gleichungen (44b) und (47d) unterscheiden sich gewöhnlich, da die Bedingungen unterschiedlich sind. \triangleleft

14.5 Temperaturbedingung

Die Gleichung (48) muss für alle Betriebszustände erfüllt werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung der Temperaturbedingung erfolgt durch eine separate Berechnung in die der Wert für den Massenstrom, der erneut berechnet wurde, einfließt bei Einhaltung der Druckbedingung bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = T_{uo}$.

$$T_{iob,j,l} \geq T_{g,j,l} \quad \text{in K} \quad (48)$$

Dabei ist

$T_{iob,j,l}$ die Innenwandtemperatur des Sammlerabschnittes j,l an dem Austritt in K;

$T_{g,j,l}$ die Grenztemperatur für den Sammlerabschnitt j,l in K.

Die Grenztemperatur $T_{g,j,l}$ für den trockenen Betrieb ist gleich der Taupunkttemperatur $T_{sp,j,l}$ des Abgases (siehe 8.6): $T_{g,j,l} = T_{sp,j,l}$

Die Grenztemperatur $T_{g,j,l}$ für den Nassbetrieb ist gleich dem Gefrierpunkt des Wassers: $T_{g,j,l} = 273,15 \text{ K}$.

14.6 Berechnungsgang

Für den Berechnungsgang siehe 5.6.

14.7 \triangleleft Drücke \triangleleft an dem Austritt des Verbindungsstückes und \triangleleft Drücke \triangleleft an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt

14.7.1 \triangleleft Druck \triangleleft an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt \triangleleft ($P_{ZC,j,l}$ oder $P_{ZOC,j,l}$) \triangleleft

\triangleleft 14.7.1.1 Unterdruck

Der minimale und der maximale Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j,l des Sammlers ($P_{ZC,j,l}$ und $P_{ZCmax,j,l}$) müssen mit Hilfe der Gleichungen (43) und (47a) berechnet werden.

14.7.1.2 Überdruck

Der maximale und der minimale Überdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j,l des Sammlers ($P_{ZOC,j,l}$ und $P_{ZOCmin,j,l}$) müssen mit Hilfe der Gleichungen (44b) und (47d) berechnet werden. \triangleleft

A1 14.7.1.3 A1 Ruhedruck im Sammlerabschnitt ($P_{HC,j,l}$)

Der Ruhedruck $P_{HC,j,l}$ im Sammlerabschnitt j,l wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{HC,j,l} = H_{C,j,l} \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mC,j,l}) \quad \text{in Pa} \quad (49)$$

Dabei ist

- $H_{C,j,l}$ die wirksame Höhe des Sammlerabschnittes j,l in m;
- g die Erdbeschleunigung = 9,81 A1 in A1 m/s²;
- ρ_L die Dichte der Außenluft in kg/m³;
- $\rho_{mC,j,l}$ die mittlere Dichte des Abgases in Abschnitt j,l in kg/m³.

A1 14.7.1.4 A1 Widerstandsdruck im Sammlerabschnitt ($P_{RC,j,l}$)

Der Widerstandsdruck $P_{RC,j,l}$ im Sammlerabschnitt j,l wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{RC,j,l} = S_E \left(\psi_{C,j,l} \frac{L_{C,j,l}}{D_{hC,j,l}} + \sum \zeta_{C,j,l} \right) \frac{\rho_{mC,j,l}}{2} w_{mC,j,l}^2 + S_{EMC,j,l} P_{13C,j,l} + S_{EGC,j,l} P_{GC,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (50)$$

Dabei ist

- $P_{GC,j,l}$ die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases vom Sammlerabschnitt j,l zum Abschnitt $j,l+1$ in Pa;
- $P_{13C,j,l}$ die Druckverlust durch Beimischung von Abgas an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt $j,l+1$ in Pa;
- S_E die strömungstechnische Sicherheitszahl –;
- $S_{EGC,j,l}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases
($S_{EGC,j,l} = S_E$ für $P_{GC,j,l} \geq 0$; $S_{EGC,j,l} = 1,0$ für $P_{GC,j,l} < 0$) –;
- $S_{EMC,j,l}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Vorbeiströmung ($S_{EMC,j,l} = S_E$ für $P_{13C,j,l} \geq 0$; $S_{EMC,j,l} = 1,0$ für $P_{13C,j,l} < 0$) –;
- $\psi_{C,j,l}$ die Rohrreibungszahl des Sammlerabschnittes j,l –;
- $L_{C,j,l}$ die Länge des Sammlerabschnittes j,l in m;
- $D_{hC,j,l}$ der innere hydraulische Durchmesser des Sammlerabschnittes j,l in m;
- $\sum \zeta_{C,j,l}$ die Summe der Widerstandsbeiwerte des Sammlerabschnittes j,l –;
- $\rho_{mC,j,l}$ die mittlere Dichte des Abgases im Sammlerabschnitt j,l in kg/m³;
- $w_{mC,j,l}$ die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Sammlerabschnitt j,l in m/s.

Beim letzten Sammlerabschnitt j,NCj (bezüglich der Abgaseinführung in die Abgasanlage) wird $P_{23,j}$ anstatt $P_{13C,j,NCj}$ verwendet.

Dabei ist

$P_{23,j}$ der Druckverlust durch Umlenkung des Abgases und Beimischung an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage in Pa.

A1) 14.7.1.4.1 A1) Mittlerer Rauigkeitsbeiwert für die Innenwand (Sammlerabschnitt und Verbindungsstück)

Zur Berechnung des mittleren Rauigkeitsbeiwertes für die Innenwand (Sammlerabschnitt und Verbindungsstück) siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.4.

A1) 14.7.1.4.2 A1) Einzelwiderstandszahlen

Zur Berechnung der Einzelwiderstandszahlen siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.7.

A1) 14.7.1.4.3 A1) Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases ($P_{GC,j,l}$)

Zur Berechnung der Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases ($P_{GC,j,l}$) siehe EN 13384-1:2002, 5.10.3.2.

Die Druckänderung $P_{G,j}$ vom Sammlerabschnitt j,l zum Abschnitt j,l+1 wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{GC,j,l} = \frac{\rho_{mC,j,l+1}}{2} \cdot w_{mC,j,l+1}^2 - \frac{\rho_{mC,j,l}}{2} \cdot w_{mC,j,l}^2 \quad \text{in Pa} \quad (51)$$

Für den letzten Sammlerabschnitt j,NCj (bezogen auf den Punkt der Abgaseinführung in die Abgasanlage):

$$P_{GC,j,NCj} = \frac{\rho_{m,j}}{2} \cdot w_{m,j}^2 - \frac{\rho_{mC,j,NCj}}{2} \cdot w_{mC,j,NCj}^2 \quad \text{in Pa} \quad (52)$$

Dabei ist

$\rho_{mC,j,l}$ die mittlere Dichte des Abgases im Sammlerabschnitt j,l in kg/m³;
 $w_{mC,j,l}$ die mittlere Geschwindigkeit im Sammlerabschnitt j,l in m/s;
 $\rho_{m,j}$ die mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage in kg/m³;
 $w_{m,j}$ die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage in m/s.

A1) 14.7.1.4.4 A1) Druckverlust durch Beimischung an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt ($P_{13C,j,l}$)

Der Druckverlust $P_{13,j,l}$ durch Beimischung an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt wird beim Widerstandsdruck des Sammlerabschnittes vor dieser Abgaseinführung berücksichtigt und nach folgender Gleichung ermittelt:

$$P_{13C,j,l} = \zeta_{13C,j,l+1} \cdot \frac{\rho_{mC,j,l+1}}{2} \cdot w_{mC,j,l+1}^2 \quad \text{in Pa} \quad (53)$$

$$\zeta_{13C,j,l+1} = 0,03 \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j,l+1}}{\dot{m}_{C,j,l+1}} \right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_{V,j,l+1}}{\dot{m}_{C,j,l+1}} \right)^2 \left\{ 1 + 1,62 \left(\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} \cos \gamma_{C,j,l+1} - 1 \right) - 0,38 \left[1 - \left(\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} \right)^{-1} \right] \right\} + \left[2 - \left(\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} \right)^{-1} \right] \cdot \frac{\dot{m}_{V,j,l+1}}{\dot{m}_{C,j,l+1}} \cdot \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j,l+1}}{\dot{m}_{C,j,l+1}} \right) \quad (54)$$

mit $\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} \geq 1$; $0 \leq \frac{\dot{m}_{V,j,l+1}}{\dot{m}_{C,j,l+1}} \leq 1,0$; $0^\circ < \gamma_{C,j,l+1} \leq 90^\circ$

Für $\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} < 1$ wird der Einzelwiderstand einer Verbindung als Summe der Einzelwiderstände aus Querschnittsreduzierung (siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.8, Formen Nr. 6 und 8) und einer Verbindung $\frac{A_{C,j,l+1}}{A_{V,j,l+1}} = 1$ ermittelt.

Dabei ist

$A_{C,j,l+1}$	die Querschnittsfläche des Sammlerabschnittes j,l+1	in m ² ;
$A_{V,j,l+1}$	die Querschnittsfläche des Verbindungsstückes j,l+1	in m ² ;
$\gamma_{C,j,l+1}$	der Einführungswinkel des Verbindungsstückes j,l+1 in den Sammlerabschnitt j,l+1	in °;
$\zeta_{13C,j,l+1}$	die Einzelwiderstandszahl an der Verbindung des Verbindungsstückes j,l+1 und dem Sammlerabschnitt j,l+1	-;
$\rho_{mC,j,l+1}$	die mittlere Dichte des Abgases im Sammlerabschnitt j,l+1	in kg/m ³ ;
$w_{mC,j,l+1}$	die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Sammlerabschnitt j,l+1	in m/s;
$\dot{m}_{V,j,l+1}$	der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j,l+1	in kg/s;
$\dot{m}_{C,j,l+1}$	der Abgasmassenstrom im Sammlerabschnitt j,l+1	in kg/s.

14.7.1.4.5 **Druckverlust durch Richtungsänderung und Beimischung von Abgas an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage ($P_{23,j}$)**

Für die Berechnung des Druckverlustes durch Richtungsänderung und Beimischung von Abgas an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage ($P_{23,j}$) siehe 12.2.3.3.

In Gleichung (40) wird $A_{C,j,NCj}$ anstelle von $A_{V,j}$ und $\dot{m}_{C,j,NCj}$ anstelle von $\dot{m}_{V,j}$ eingesetzt

Dabei ist

$A_{C,j,NCj}$	Querschnittsfläche des Sammlerabschnittes j,NCj	in m ² ;
$\dot{m}_{C,j,NCj}$	Abgasmassenstrom des Sammlerabschnittes j,NCj	in kg/s.

A1 14.7.1.5 **A1** **A1** Druck **A1** an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage **A1** ($P_{Z,j}$ und $P_{Zmax,j}$ oder $P_{ZO,j}$ und $P_{ZOmin,j}$) **A1**

A1 14.7.1.5.1 Unterdruck **A1**

A1 Für die Berechnung des minimalen und des maximalen Unterdrucks an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage ($P_{Z,j}$ und $P_{Zmax,j}$) siehe 12.1.1. **A1**.

A1 In Gleichung (35) wird $A_{C,j+1,NC}$ anstelle von $A_{V,j+1}$ und $\dot{m}_{C,j+1,NC}$ anstelle von $\dot{m}_{V,j+1}$ eingesetzt. **A1**

Dabei ist

$A_{C,j+1,NCj+1}$	Querschnittsfläche des Sammlerabschnittes j+1,NCj+1	in m ² ;
$\dot{m}_{C,j+1,NCj+1}$	Abgasmassenstrom des Sammlerabschnittes j+1,NCj+1	in kg/s.

A1 14.7.1.5.2 Überdruck

Für die Berechnung des maximalen und des minimalen Überdruckes an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage ($P_{ZO,j}$ und $P_{ZOmin,j}$) siehe 12.1.2.

In Gleichung (35) wird $A_{C,j+1,NC}$ anstelle von $A_{V,j+1}$ und $\dot{m}_{C,j+1,NC}$ anstelle von $\dot{m}_{V,j+1}$ eingesetzt.

Dabei ist

$A_{C,j+1,NC}$	Querschnittsfläche des Sammlerabschnittes j+1,NC	in m ² ;
$\dot{m}_{C,j+1,NC}$	Abgasmassenstrom im Sammlerabschnitt j+1,NC	in kg/s. A1

14.7.2 **A1** **A1** Notwendige oder vorhandene Drücke **A1** an dem Austritt des Verbindungsstückes **A1** ($P_{ZeC,j,l}$, $P_{ZeOC,j,l}$) **A1**

A1 14.7.2.1 Notwendiger Unterdruck **A1**

Der **A1** notwendige **A1** Unterdruck $P_{ZeC,j,l}$ an dem Austritt des Verbindungsstückes j,l ist die Summe des errechneten Unterdruckes $P_{Wc,j,l}$ der Feuerstätte j,l und dem errechneten Widerstandsdruck des Verbindungsstückes $P_{V,j,l}$ sowie dem errechneten Widerstandsdruck der Zuluft $P_{Bc,j,l}$. Dieser Unterdruck wird nach Gleichung (44) berechnet.

A1 14.7.2.2 Maximal nutzbarer Überdruck

Der maximale nutzbare Überdruck $P_{ZOeC,j,l}$ an dem Austritt des Verbindungsstückes j,l ist die Differenz aus dem errechneten zur Verfügung stehenden Förderdruck $P_{WOC,j,l}$ der Feuerstätte j,l und der Summe des errechneten Widerstandsdruckes des Verbindungsstückes $P_{V,j,l}$ und dem Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j,l}$ und ist nach Gleichung (44c) zu berechnen. **A1**

A1 14.7.2.3 **A1** Errechneter Widerstandsdruck des Verbindungsstückes ($P_{V,j,l}$)

Der zu berechnende Widerstandsdruck des Verbindungsstückes $P_{V,j,l}$ wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$P_{V,j,l} = P_{RV,j,l} - P_{HV,j} \quad \text{in Pa} \quad (55)$$

A1 14.7.2.3.1 A1 Ruhedruck im Verbindungsstück ($P_{HV,j,l}$)

Siehe EN 13384-1:2002, 5.11.3.2.

A1 14.7.2.3.2 A1 Widerstandsdruck im Verbindungsstück ($P_{RV,j,l}$)

Der Widerstandsdruck im Verbindungsstück $P_{RV,j}$ wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$P_{RV,j,l} = S_E \left[\left(\psi_{V,j,l} \frac{L_{V,j,l}}{D_{hV,j,l}} + \sum \zeta_{V,j,l} \right) \frac{\rho_{mV,j,l}}{2} w_{mV,j,l}^2 \right] + S_{EMV,j,l} P_{23,j,l} + S_{EGV,j,l} P_{GV,j,l} \quad \text{in Pa} \quad (56)$$

Der Differenzdruck $P_{GV,j,j}$ wird aus der Differenz der Abgasgeschwindigkeit im Verbindungsstück und dem Entsprechenden Abschnitt der Abgasanlage nach folgender Gleichung ermittelt:

$$P_{GV,j,l} = \frac{\rho_{mC,j,l}}{2} \cdot w_{mC,j,l}^2 - \frac{\rho_{mV,j}}{2} \cdot w_{mV,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad (57)$$

Dabei ist

- S_E die strömungstechnische Sicherheitszahl;
- $S_{EGV,j,l}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases
 $S_{EGV,j,l} = S_E$ für $P_{GV,j,l} \geq 0$; $S_{EGV,j,l} = 1,0$ für $P_{GV,j,l} < 0$;
- $S_{EMV,j,l}$ die strömungstechnische Sicherheitszahl für $P_{23C,j,l}$
($S_{EMV,j,l} = S_E$ für $P_{23C,j,l} \geq 0$; $S_{EMV,j,l} = 1,0$ für $P_{23C,j,l} < 0$);
- $\psi_{V,j,l}$ die Rohrreibungszahl im Verbindungsstück j,l ;
- $L_{V,j,l}$ die Länge des Verbindungsstückes j,l in m;
- $D_{hV,j,l}$ der innere hydraulische Durchmesser des Verbindungsstückes in m;
- $\sum \zeta_{V,j,l}$ die Summe der Einzelwiderstandszahlen des Verbindungsstückes (ohne Berücksichtigung von Beimischungseffekten an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage);
- $\rho_{mV,j,l}$ die mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück in kg/m^3 ;
- $w_{mV,j,l}$ die mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück in m/s.

Der Druckverlust $P_{23C,j,l}$ aus Richtungsänderung und Beimischung des Abgases an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt j,l wird mit folgenden Gleichungen berechnet:

$$P_{23C,j,l} = \zeta_{23C,j,l} \frac{\rho_{mC,j,l}}{2} \cdot w_{mC,j,l}^2 \quad \text{in Pa} \quad (58)$$

$$\zeta_{23C,j,l} = -0,92 \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j,l}}{\dot{m}_{C,j,l}} \right)^2 - \left(\frac{\dot{m}_{V,j,l}}{\dot{m}_{C,j,l}} \right)^2 \cdot \left\{ 12 \left(\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \cos \gamma_{C,j,l} - 1 \right) + 0,8 \left[1 - \left(\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \right)^2 \right] - \left[1 - \left(\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \right)^{-1} \right] \cdot \frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \times \cos \gamma_{C,j,l} \right\} +$$

$$+ \left[2 - \left(\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \right)^{-1} \right] \cdot \frac{\dot{m}_{V,j,l}}{\dot{m}_{C,j,l}} \cdot \left(1 - \frac{\dot{m}_{V,j,l}}{\dot{m}_{C,j,l}} \right) \quad (59)$$

mit $\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} \geq 1$; $0 \leq \frac{\dot{m}_{V,j,l}}{\dot{m}_{C,j,l}} \leq 1,0$; $0^\circ < \gamma_{C,j,l} \leq 90^\circ$

Für $\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} < 1$ wird der Einzelwiderstand einer Verbindung als Summe der Einzelwiderstände aus Querschnittsreduzierung (siehe EN 13384-1:2002, Tabelle B.8, Form Nr. 6 und 8) und einer Verbindung $\frac{A_{C,j,l}}{A_{V,j,l}} = 1$ ermittelt.

Dabei ist

$\zeta_{23C,j,l}$	die Einzelwiderstandszahl für Richtungsänderung und Beimischung an der Abgaseinführung in den Sammleranschnitt j,l;	
$\rho_{mC,j,l}$	die mittlere Dichte des Abgases im Sammlerabschnitt j,l	in kg/m ³ ;
$w_{mC,j,l}$	die mittlere Abgasgeschwindigkeit im Sammlerabschnitt j,l	in m/s;
$\dot{m}_{V,j,l}$	der Abgasmassenstrom im Verbindungsstück j,l	in kg/s;
$\dot{m}_{C,j,l}$	der Abgasmassenstrom im Sammlerabschnitt j,l	in kg/s;
$A_{V,j,l}$	die Querschnittsfläche des Verbindungsstückes j,l	in m ² ;
$A_{C,j,l}$	die Querschnittsfläche des Sammlerabschnittes j,l	in m ² ;
$\gamma_{C,j,l}$	der Einführungswinkel des Verbindungsstückes in den Sammlerabschnitt j,l	in grad.

A1 14.7.2.3.3 **A1** Einzelwiderstandszahl (ζ)

Zur Berechnung der Einzelwiderstandszahl (ζ) siehe EN 13384-1:2002, 5.10.3.4.

A1 14.7.2.4 **A1** Förderdruck für die Zuluft ($P_{B,j,l}$)

Zur Berechnung des Förderdruckes für die Zuluft ($P_{B,j,l}$) siehe EN 13384-1:2002, 5.11.4.

14.8 Innenwandtemperatur ($T_{iobC,j,l}$)

Zur Berechnung der Innenwandtemperatur ($T_{iobC,j,l}$) siehe EN 13384-1:2002, 5.12.

15 Luft-Abgasanlagen

15.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

Die Berechnung basiert auf der Ermittlung der Abgasmassenstromverteilung in der Abgasanlage und der Massenstromverteilung im Zuluftschacht, dabei muss die Druckbedingung an jedem Abgaseintritt in die erfüllt Abgasanlage erfüllt sein (siehe Bild 6). Wenn eine derartige Verteilung ermittelt wurde, muss die Erfüllung der folgenden drei Bedingungen nachgewiesen werden:

- 1) $\overline{A_1}$ die Bedingungen für den Massenstrom (Gleichungen (4) und (5));
- 2) die Druckbedingung für das Abgas bei minimalem Unterdruck oder maximalem Überdruck (Gleichung (61) oder (61a) und (61b));
- 3) die Druckbedingung für maximalen Unterdruck oder minimalen Überdruck (Gleichung (6a) oder (6d));
- 4) die Temperaturbedingung (Gleichung (7)). $\overline{A_1}$

15.2 Druckbedingung

$\overline{A_1}$ Bei Unterdruck-Abgasanlagen müssen die Gleichungen $\overline{A_1}$ (1), (2) und (3) müssen bei allen Betriebsbedingungen für jeden Abschnitt j der Abgasanlage und auch für die Überströmöffnung für j = 0, erfüllt sein.

$\overline{A_1}$ Bei Überdruck-Abgasanlagen müssen die Gleichungen (3a), (3b) und (3c) für jeden Abschnitt j der Abgasanlage für alle relevanten Betriebsbedingungen erfüllt werden. $\overline{A_1}$ Der Förderdruck für die Zuluft $P_{Bc,j}$ für die Feuerstätte j, der an eine Luft-Abgasanlage angeschlossen wird ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$P_{Bc,j} = \sum_{k=j}^N (P_{RB,k} + P_{HB,k}) + (P_{RBV,j} + P_{HBV,j}) \quad (60)$$

Dabei ist

$P_{Bc,j}$	der Förderdruck für die Zuluft der Feuerstätte j	in Pa;
$P_{RB,k}$	der Förderdruck für den Zuluftschacht des Abschnittes k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{HB,k}$	der Ruhedruck im Zuluftschacht des Abschnittes k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{RBV,j}$	der Förderdruck im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	in Pa;
$P_{HBV,j}$	de Ruhedruck im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	in Pa;
N	die Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten	–.

Es wird angenommen, dass die Ausführung der Zuluftzuführung und Austritt der Abgasanlage so erfolgte, dass Windeinflüsse gering sind. Damit kann $P_L = 0$ angesetzt werden und braucht in den Gleichungen nicht berücksichtigt zu werden.

15.3 Bedingung für den Massenstrom

Die Gleichungen (4) und (5) müssen erfüllt sein.

15.4 Druckbedingung

15.4.1 Unterdruck-Abgasanlagen

Bei Unterdruck-Abgasanlagen ist zusätzlich zu überprüfen, ob der Unterdruck in der Abgasanlage ($P_{Z,j}$) größer oder gleich dem Unterdruck im Zuluftschacht an derselben Stelle ist. Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss unter den gleichen Bedingungen wie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom festgelegt, erfolgen (siehe 5.3 und 5.6). Folgende Zusammenhänge müssen verifiziert werden: **A1**

$$P_{Z,j} \geq \sum_{k=j}^N (P_{RB,k} + P_{HB,k}) \quad (61)$$

Dabei ist

$P_{Z,j}$	der Förderdruck an der Abgaseinführung in den senkrechten Abschnitt j der Abgasleitung	in Pa;
$P_{RB,k}$	der Förderdruck im Zuluftschacht des Abschnittes k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{HB,k}$	der Ruhedruck im Luftschacht des Abschnittes k der Abgasanlage	in Pa.

A1 Falls erforderlich, ist zusätzlich zu überprüfen, ob der Unterdruck (Zug) in der Abgasanlage ($P_{Zmax,j}$) niedriger oder gleich dem maximal zulässigen Unterdruck an der Feuerstätte ($P_{Zemax,j}$) ist. Die Gleichung (6a) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen.

15.4.2 Überdruck-Abgasanlagen

Bei Überdruck-Abgasanlagen ist zusätzlich zu überprüfen, ob der maximale Differenzdruck zwischen dem Verbindungsstück bzw. im senkrechten Teil der Abgasanlage und dem Zuluftschacht nicht höher ist als der Überdruck, für den beide vorgesehen sind. Die Überprüfung der Druckbedingung muss unter den gleichen Bedingungen wie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom festgelegt, erfolgen (siehe 5.3 und 5.6). Folgende Zusammenhänge müssen verifiziert werden:

$$P_{ZO,j} + \sum_{k=j}^N (P_{RB,k} + P_{HB,k}) \leq P_{Zexcess} \quad \text{in Pa} \quad (61a)$$

$$P_{ZO,j} + P_{V,j} + \sum_{k=j}^N (P_{RB,k} + P_{HB,k}) + P_{RBV,j} + P_{HBV,j} \leq P_{ZVexcess} \quad \text{in Pa} \quad (61b)$$

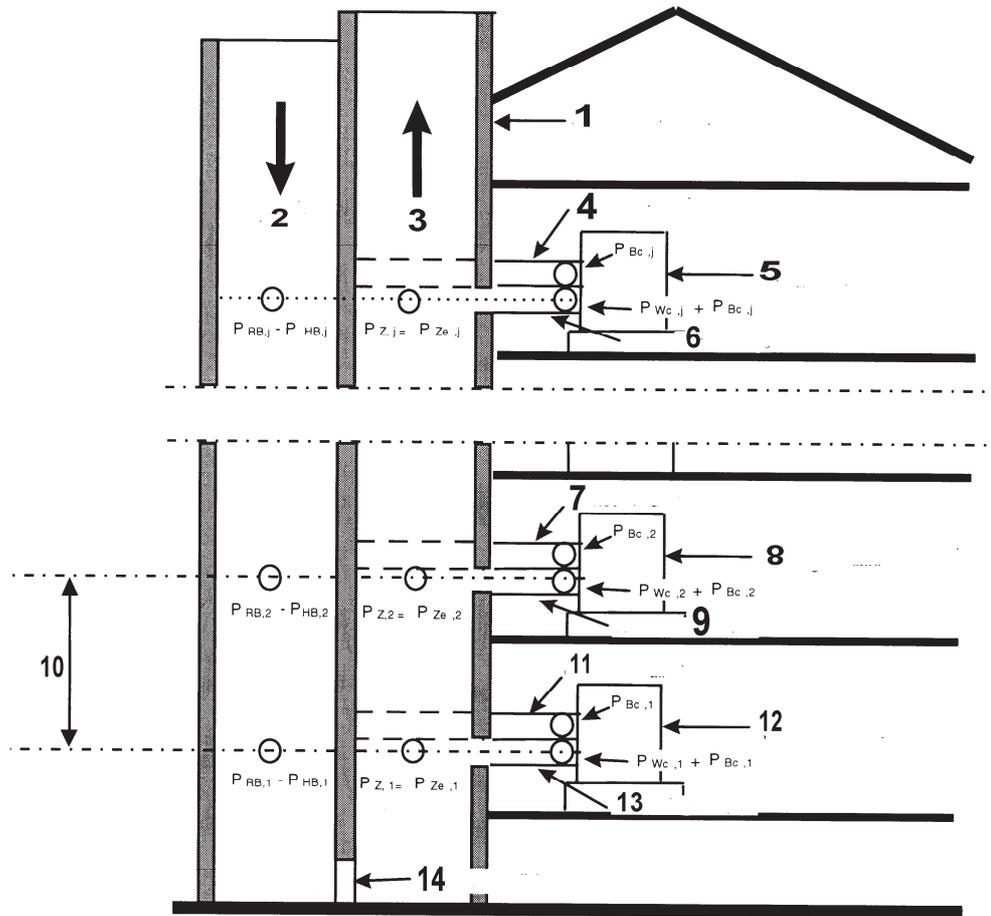
Dabei ist

$P_{ZO,j}$	der Überdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{V,j}$	der errechnete Widerstandsdruck des Verbindungsstückes von Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa;

$P_{Zexcess}$	der maximal zulässige Druck entsprechend der Kennzeichnung der Abgasanlage	in Pa;
$P_{ZVexcess}$	der maximal zulässige Druck entsprechend der Kennzeichnung des Verbindungsstückes	in Pa;
$P_{RB,k}$	der Widerstandsdruck des Luftzuführungsschachtes von Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{HB,k}$	der Ruhedruck im Zuluftschacht von Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa;
$P_{RBV,j}$	der Widerstandsdruck des Zuluftschachtes der Verbindungsstücke j	in Pa;
$P_{HBV,j}$	der Ruhedruck im Zuluftschacht der Verbindungsstücke j	in Pa;
N	die Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten.	

Falls erforderlich, ist zusätzlich zu überprüfen, ob der Überdruck in der Abgasanlage ($P_{ZOmin,j}$) größer oder gleich dem erforderlichen Überdruck an der Feuerstätte ($P_{ZOemin,j}$) ist. Die Gleichung (6d) muss für alle relevanten Betriebsbedingungen verifiziert werden (siehe 5.6).

Die Überprüfung dieser Druckbedingung muss mit einer gesonderten Berechnung unter Verwendung der neu berechneten Abgasmassenströme, die die Druckbedingungen bei einer Außenlufttemperatur von $T_L = 258,15 \text{ K}$ ($t_L = -15 \text{ °C}$, siehe EN 13384-1) erfüllen, erfolgen. $\overline{A_1}$



Legende

- 1 Luft-Abgas-Anlage
- 2 Zuluftschacht
- 3 Abgasschacht
- 4 Verbindungsstück für die Zuluft j
- 5 Feuerstätte j
- 6 Verbindungsstück $\overline{A_1} j \overline{A_1}$
- 7 Verbindungsstück für die Zuluft $\overline{A_1}$ -Zuführung $\overline{A_1} 2$
- 8 Feuerstätte 2
- 9 Verbindungsstück $\overline{A_1} 2 \overline{A_1}$
- 10 Abschnitt 1 der Abgasanlage
- 11 Verbindungsstück für die Zuluft $\overline{A_1}$ -Zuführung $\overline{A_1} 1$
- 12 Feuerstätte 1
- 13 Verbindungsstück $\overline{A_1} 1 \overline{A_1}$
- 14 Überströmöffnung $\overline{A_1}$ (nur bei Unterdruck-Abgasanlagen) $\overline{A_1}$

Bild 6 — Beispiel für die Benennung von Druck- und Temperaturwerten von Luft-Abgasanlagen mit Mehrfachbelegung

15.5 Temperaturbedingung

Gleichung (7) muss erfüllt werden.

15.6 Berechnungsgang für Luft-Abgasanlagen

Für die Berechnung der Druck- und Temperaturwerte in Luft-Abgasanlagen mit Mehrfachbelegung ist eine iterative Vorgehensweise notwendig (siehe 15.8.2.9). Dieser Berechnungsgang wird analog 5.6 durchgeführt.

Jede Iteration besteht aus folgenden zwei Phasen:

Phase 1

Berechne die Größen beginnend am niedrigsten Knotenpunkt (siehe Bild 7) bis zum Austritt in die Atmosphäre wie folgt:

- $\overline{A_1}$ bei Unterdruck-Abgasanlagen an der Überströmöffnung, falls vorhanden: $\overline{A_1}$

Massenstrom der Zuluft an der Überströmöffnung

$$\dot{m}_{B,0} = \sqrt{\frac{2P_{Z,0} - P_{B,0}}{\rho_\alpha \cdot \zeta_{0}}} \cdot A_0 \cdot \rho_{B,0} \quad (62)$$

Dabei ist

$\dot{m}_{B,0}$	der Massenstrom der Zuluft im Abschnitt 0 der Abgasanlage	in kg/s;
ζ_0	die Einzelwiderstandszahl der Überströmöffnung. Es wird ein Wert von 3,0 eingesetzt, wenn vom Hersteller keine anderen Daten angegeben werden	—;
$P_{Z,0}$	der Unterdruck in der Abgasanlage an der Überströmöffnung (berechnet nach EN 13384-1:2002, 5.11)	in Pa;
A_0	die Querschnittsfläche der Überströmöffnung	in m ² ;
$\rho_{B,0}$	die Dichte der Zuluft im Abschnitt 0 der Abgasanlage	in kg/m ³ ;
$P_{B,0}$	der Unterdruck im Luftschacht an der Überströmöffnung	in Pa;

- in jeder Abgas- und Zuluftleitung an den Abzweigen:

Massenstrom des Abgases und der Zuluft (sie sind gleich dem Massenstrom am Abgasstutzen und an der Zuluftzuführung an der Feuerstätte);

mittlere Dichte des Abgases (nach Gleichung (27)) und Zuluft (siehe Gleichung (116));

mittlere Geschwindigkeit des Abgases (nach Gleichung (28)) und Zuluft (siehe Gleichung (117));

Temperatur des Abgases und der Zuluft an dem Austritt der Verbindungsleitung (siehe EN 13384-1:2002, 5.8, oder im Falle konzentrischer Leitungen Gleichungen (97) und (99));

mittlere Temperatur des Abgases und der Zuluft (siehe EN 13384-1:2002, 5.8, oder im Falle konzentrischer Leitungen, Gleichungen (100) und (101)).

- in jeder Abgas- und Zuluftleitung eines Abschnittes einer Abgasanlage:

Abgasmassenstrom nach dem Mischen und Massenstrom der Zuluft vor dem Mischen nach Gleichung (8) für das Abgas und nach Gleichung (63) für die Zuluft;

Temperatur des Abgases/der Zuluft nach dem Mischen (nach Gleichung (9) für das Abgas, wobei die Temperatur der Zuluft an den Einführungen der Zuluftleitung und dem Zuluftschaft gleich ist);

mittlere Dichte des Abgases (nach Gleichung (28)) und der Zuluft (siehe Gleichung (116));

mittlere Geschwindigkeit des Abgases (nach Gleichung (29)) und der Zuluft (siehe Gleichung (117));

Abgastemperatur und Temperatur der Zuluft (siehe Gleichungen (75) und (77) oder EN 13384-1:2002, 5.8);

mittlere Temperatur des Abgases und der Zuluft (siehe EN 13384-1:2002, 5.8, oder im Falle von konzentrischen Leitungen nach den Gleichungen (78) und (79)).

Phase 2

A1) Bei Unterdruck-Abgasanlagen sind die tatsächlichen Werte für den Unterdruck an jedem Knotenpunkt zu berechnen, und zwar von dem Austritt der Abgasanlage in die Atmosphäre rückwärts bis zum davon am weitesten entfernten Knotenpunkt:

- Ruhedruck des Abschnittes der Abgasanlage (nach den Gleichungen (31) und (104));
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasanlage (nach Gleichung (32));
- Unterdruck an der Einführung in den Abschnitt der Abgasanlage (nach Gleichung (2));
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasanlage an der Überströmöffnung, wenn vorhanden (nach Gleichung (32));
- Unterdruck an der Einführung in den Abschnitt der Abgasanlage an der Überströmöffnung, wenn vorhanden (nach Gleichung (2)).

Bei Überdruck-Abgasanlagen sind die tatsächlichen Werte für den Druck an jedem Knotenpunkt zu berechnen, und zwar von dem Austritt der Abgasanlage in die Atmosphäre rückwärts bis zum davon am weitesten entfernten Knotenpunkt:

- Ruhedruck des Abschnittes der Abgasanlage (nach den Gleichungen (31) und (104));
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasanlage (nach Gleichung (32));
- Überdruck an der Einführung in den Abschnitt der Abgasanlage (nach Gleichung (3b)).

Die oben beschriebene Iteration (Phase 1 und Phase 2) muss bei den betrachteten Betriebsbedingungen solange fortgesetzt werden, bis die Druckbedingung erfüllt ist (Gleichung (1)). **A1)**

15.7 Massenstrom für die Zuluft

Für jede Verbindungsstelle des Zuluftschaftes des Abschnittes der Abgasanlage und des Zuluftschaftes des Verbindungsstückes gilt folgende Gleichung:

$$\dot{m}_{B,j-1} = \dot{m}_{BV,j} + \dot{m}_{B,j} \quad (63)$$

Dabei ist

$\dot{m}_{B,j-1}$, $\dot{m}_{BV,j}$, $\dot{m}_{B,j}$ der Massenstrom der Zuluft im Zuluftschaft.

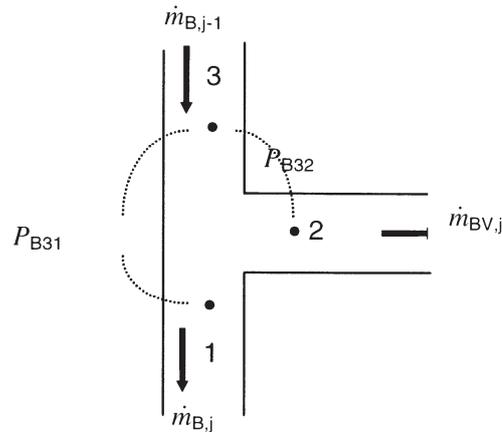


Bild 7 — Druckverlust P_{B3j} infolge Richtungswechsel des Abgasmassenstromes und Beimischung von Abgas im Bereich der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage

15.8 Temperaturbestimmung in Luft-Abgas-Systemen

15.8.1 Einzelne Schächte

Wenn der Wärmeübergangskoeffizient des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes höher als $0,65 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ ist, so ist die Ermittlung der Temperaturen für das Abgas in einzelnen Schächten entsprechend Abschnitt 9 durchzuführen. Für die Temperatur der Zuluft im Zuluftschacht ist die Außentemperatur anzunehmen.

Sonst sind die Temperaturen wie in 15.8.2 beschrieben, zu ermitteln.

15.8.2 Konzentrische Schächte

Für einen Abschnitt der Abgasanlage mit einer Länge bis 3 m gelten folgende Berechnungen.

Bei Abschnitten der Abgasanlage von mehr als 3 m sind diese Abschnitte in mehrere aufzuteilen und die Berechnung ist entsprechend zu wiederholen.

15.8.2.1 Berechnungsgrundlage zur Bestimmung der Temperaturen

Über die Verfahrensweise nach 5.6 hinausgehend beruht die Berechnung der Temperaturen in konzentrischen Schächten auf der Annahme von noch unbekanntem Startwerten für die Temperaturen. Die Gleichungen in 15.8.2 sollen für die Iteration verwendet werden, die solange durchgeführt wird, bis die Bedingungen nach 15.8.2.9 erfüllt sind.

15.8.2.2 Wärmedurchgangskoeffizient an der Stelle der Zuluftzuführung zum Abgas

Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten an der Stelle der Zuluftzuführung zum Abgas gilt folgende Gleichung:

$$k_{j,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{i,j}} + S_H \cdot \left[\left(\frac{1}{A} \right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j} \cdot S_{rad}} \right]} \quad \text{in } \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (64)$$

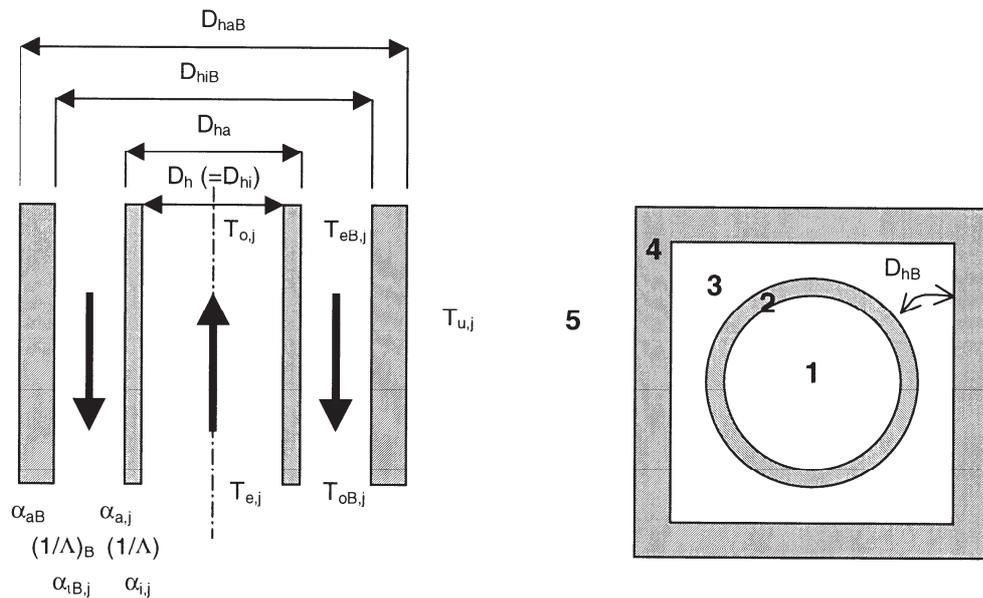
Dabei ist

k_j	der Wärmedurchgangskoeffizient an der Stelle der Zuluftzuführung zum Abgas für den Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2K}$;
$\alpha_{i,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient vom Abgas zur inneren Oberfläche des Abschnittes j der Abgasleitung	in $\frac{W}{m^2K}$;
$\alpha_{a,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem Zuluftstrom und der äußeren Oberfläche des Abschnittes j der Abgasleitung	in $\frac{W}{m^2K}$;
D_h	der hydraulische Durchmesser der Abgasleitung	in m;
D_{ha}	der hydraulischer Durchmesser des Zuluftschachtes	in m;
S_H	der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	-;
$\left(\frac{1}{A}\right)$	der Wärmedurchlasswiderstand der Abgasleitung	in $\frac{W}{m^2K}$;
S_{rad}	der Korrekturfaktor für Wärmestrahlung von der äußeren Oberfläche der Abgasleitung auf die innere Oberfläche des Zuluftschachtes	-.

Für Luft-Abgasleitungen mit konzentrisch angeordneten Schächten ist der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung S_H mit 1 anzunehmen.

Für die Berücksichtigung der Wärmestrahlung von der äußeren Oberfläche der Abgasleitung auf die innere Oberfläche ist bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten k_j für den dazu zu berücksichtigenden Korrekturfaktor für Wärmestrahlung S_{rad} der Wert 2 anzunehmen.

Für Abgasanlagen, die ständig im Nassbetrieb sind, ist $S_{rad} = 1$ anzunehmen.



Legende

- 1 Abgasleitung (Querschnitt mit Abgas)
- 2 Abgasleitung
- 3 Zulufschicht (Querschnitt mit Zuluft)
- 4 Zulufschicht
- 5 Umgebungstemperatur

Bild 8 — Definition der Symbole für die Berechnung von Luft-Abgasanlagen mit konzentrischen Abgasleitungen

Für die Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten der Zuluft zur äußeren Oberfläche der Abgasleitung des Abschnittes j der Abgasleitung $\alpha_{a,j}$ gelten folgende Gleichungen:

$$\alpha_{a,j} = \frac{\lambda_{B,j} \cdot Nu_{a,j}}{D_{hB}} \quad \text{in } \frac{W}{m^2K} \quad (65)$$

mit

$$D_{hB} = \frac{4A_B}{U_a + U_{iB}} \quad \text{in m} \quad (66)$$

$$Nu_{a,j} = 0,86 \left(\frac{D_{hB}}{D_{ha}} \right)^{0,16} \cdot Nu_{B,j} \quad - \quad (67)$$

und

$$Nu_{B,j} = \left[\frac{\psi_{B,j}}{\psi_{smoothB,j}} \right]^{0,67} \times 0,0214 \left(Re_{B,j}^{0,8} - 100 \right) \cdot Pr_{B,j}^{0,4} \cdot \left(1 + \frac{D_{hB}}{L_j} \right)^{0,67} \quad - \quad (68)$$

mit

$$Re_{B,j} = \frac{w_{B,j} \cdot D_{hB}}{\nu_{B,j}} \quad - \quad (69)$$

Dabei ist

$\alpha_{a,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient von der Zuluft zur äußeren Oberfläche der Abgasleitung des Abschnittes j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$\lambda_{B,j}$	die Wärmeleitfähigkeit der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m \cdot K}$;
$Nu_{a,j}$	die Nusselt-Zahl für die Außenseite der Abgasleitung des Abschnittes j	-;
D_{hB}	der hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes	in m;
A_B	die Querschnittsfläche des Zuluftschachtes	in m ² ;
U_{iB}	der innere Umfang des Zuluftschachtes	in m;
U_a	der äußere Umfang der Abgasleitung	in m;
D_{ha}	der hydraulische Durchmesser der äußeren Abmessung der Abgasleitung	in m;
$Nu_{B,j}$	die Nusselt-Zahl für einen Referenz-Zuluft-Massenstrom im Zuluftschacht	-;
$\psi_{B,j}$	der höhere Wert von der Rohrreibungszahl für die Innenseite des Zuluftschachtes einerseits und der Außenseite des Abschnittes j der Abgasleitung andererseits	-;
$\psi_{smoothB,j}$	die Rohrreibungszahl für laminare Strömung der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	-;
$Re_{B,j}$	die Reynolds-Zahl an der Zuluftzuführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	-;
$Pr_{B,j}$	die Prandtl-Zahl der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	-;
L_j	die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
$w_{B,j}$	die durchschnittliche Geschwindigkeit im Abschnitt j der Abgasanlage	m/s;
$\nu_{B,j}$	die kinematische Viskosität der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	m ² s.

15.8.2.3 Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Zuluft und Umgebungsluft

Für konzentrische Leitungen wird der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Zuluft und Umgebungsluft nach folgender Gleichung ermittelt:

$$k_{B,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iB,j}} + S_H \left[\left(\frac{1}{A} \right)_B + \frac{D_{hiB}}{D_{haB} \cdot \alpha_{aB,j}} \right]} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (70)$$

Dabei ist

$k_{B,j}$	der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Zuluft und Umgebungsluft eines Abschnittes j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$\alpha_{iB,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Zuluft und innerer Oberfläche des Zuluftschachtes eines Abschnittes j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$\left(\frac{1}{A}\right)_B$	der Wärmedurchlasswiderstand des Zuluftschachtes	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
D_{haB}	der äußere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes	in m;
D_{hiB}	der innere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes	in m;
$\alpha_{aB,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenseite des Zuluftschachtes und der Umgebungsluft	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
S_H	der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	–.

Bei Luft-Abgassystemen mit konzentrischen Schächten ist S_H gleich 1 zu setzen.

Für die Berechnung von $\alpha_{iB,j}$ gilt folgende Gleichung:

$$\alpha_{iB,j} = \frac{\lambda_{B,j} \cdot Nu_{iB,j}}{D_{hB}} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (71)$$

mit

$$Nu_{iB,j} = \left[1 - 0,14 \left(\frac{D_{ha}}{D_{hiB}} \right)^{0,6} \right] \cdot Nu_{B,j} \quad (72)$$

und $Nu_{B,j}$ nach Gleichung (68) und $D_{hB,j}$ nach Gleichung (69).

Dabei ist

$\lambda_{B,j}$	die Wärmeleitfähigkeit der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m \cdot K}$;
$Nu_{iB,j}$	die Nusselt-Zahl für die Innenseite des Zuluftschachtes im Abschnitt j der Abgasanlage	–;
$Nu_{B,j}$	die Nusselt-Zahl für einen Referenz-Zuluft-Massenstrom im Zuluftschacht	–;
D_{hB}	der hydraulische Durchmesser der Zuluftzuführung	in m;
D_{hiB}	der innere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes	in m;
D_{ha}	der äußere hydraulische Durchmesser der Abgasleitung	in m.

15.8.2.4 Abkühlzahl der Abgasleitung

Die Abkühlzahl der Abgasleitung wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{j,j} = \frac{k_{j,j} \cdot U \cdot L_{j,j}}{\dot{m}_{j,j} \cdot c_{p,j}} \quad (73)$$

Dabei ist

$K_{j,j}$	die Abkühlzahl des Abschnittes j der Abgasleitung	–;
$k_{j,j}$	der Wärmedurchgangskoeffizient an der Abgas- und Zuluftzuführung des Abschnittes j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
U	der Umfang der Abgasleitung	in m;
$L_{j,j}$	die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
$\dot{m}_{j,j}$	der Abgasmassenstrom im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/s;
$c_{p,j}$	die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{J}{kg \cdot K}$.

15.8.2.5 Abkühlzahl im Zuluftschacht

Die Abkühlzahl im Zuluftschacht wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{B,j} = \frac{k_{B,j} \cdot U_{iB} \cdot L_{B,j}}{\dot{m}_{B,j} \cdot c_{pB,j}} \quad (74)$$

Dabei ist

$K_{B,j}$	die Abkühlzahl des Luftzuführungsschachtes des Abschnittes j der Abgasanlage	–;
$k_{B,j}$	der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Zuluft und Umgebungsluft des Abschnittes j der Abgasanlage	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
U_{iB}	der innere Umfang des Zuluftschachtes	in m;
$L_{B,j}$	die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
$\dot{m}_{B,j}$	der Massenstrom der Zuluft für den Abschnitt j der Abgasanlage	in g/s;
$c_{pB,j}$	die spezifische Wärmekapazität der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{J}{kg \cdot K}$.

15.8.2.6 Abgastemperatur am Ende eines Abschnittes der Abgasanlage

Die Abgastemperatur am Ende der Abgasleitung des Abschnittes j der Abgasanlage wird nach Gleichung (75) berechnet; dabei wird die Iteration von einem angenommenen Startwert für jede Temperatur $T_{eB,j}$ begonnen.

$$T_{o,j} = \frac{(2-K_{j,j}) \cdot (2+K_{B,j}) \cdot T_{e,j} + 2K_{j,j}(E_{j,j} \cdot T_{e,j} + 2T_{eB,j} + K_{B,j} \cdot T_{u,j})}{(2+K_{j,j}) \cdot (2+K_{B,j}) + 2K_{j,j} \cdot E_{j,j}} \quad \text{in K} \quad (75)$$

oder Gleichung (76) wenn die Iteration mit einem Startwert $T_{oB,1}$ beginnt

$$T_{o,j} = \frac{(2-K_{j,j}) \cdot (2-K_{B,j}) \cdot T_{e,j} + 2K_{j,j}(E_{j,j} \cdot T_{e,j} - 2T_{oB,j} + K_{B,j} \cdot T_{u,j})}{(2+K_{j,j}) \cdot (2-K_{B,j}) - 2K_{j,j} \cdot E_{j,j}} \quad \text{in K} \quad (76)$$

$$E_{j,j} = \frac{\dot{m}_{j,j} \cdot c_{p,j}}{\dot{m}_{B,j} \cdot c_{pB,j}} \quad (77)$$

Dabei ist

$T_{o,j}$	die Abgastemperatur am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{e,j}$	die Abgastemperatur am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
$T_{oB,j}$	die Temperatur der Zuluft am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{eB,j}$	die Temperatur der Zuluft am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
$T_{u,j}$	die Umgebungslufttemperatur des Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$K_{j,j}$	die Abkühlzahl im Abschnitt j der Abgasanlage	–;
$K_{B,j}$	die Abkühlzahl in der Zuluftleitung zum Abschnitt j der Abgasanlage	–;
$\dot{m}_{j,j}$	der Abgasmassenstrom im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/s;
$c_{p,j}$	die spezifische Wärmekapazität des Abgases im Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$\dot{m}_{B,j}$	der Massenstrom für die Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	in kg/s;
$c_{pB,j}$	die spezifische Wärmekapazität der Zuluft zum Abschnitt j der Abgasanlage	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$E_{j,j}$	der Quotient des Wärmeflusses zwischen Abgas und Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	–.

Die Zulufttemperatur am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage wird für konzentrisch angeordnete Leitungen nach Gleichung (78) gerechnet, wenn die Iteration mit einem angenommenen Startwert für jedes $T_{eB,j}$ begonnen wird

$$T_{oB,j} = T_{e,j} + T_{o,j} - T_{eB,j} - \frac{2}{K_{j,j}}(T_{e,j} - T_{o,j}) \quad \text{in K} \quad (78)$$

oder nach Gleichung (79), wenn die Iteration mit einem angenommenen Startwert für jedes $T_{oB,1}$ begonnen wird

$$T_{eB,j} = T_{e,j} + T_{o,j} - T_{oB,j} - \frac{2}{K_{j,j}}(T_{e,j} - T_{o,j}) \quad \text{in K} \quad (79)$$

Dabei ist

$T_{o,j}$	die Abgastemperatur am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{e,j}$	die Abgastemperatur an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
$T_{oB,j}$	die Temperatur der Zuluft am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{eB,j}$	die Temperatur der Zuluft am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
K_j	die Abkühlzahl des Abschnittes j der Abgasleitung	–.

ANMERKUNG Die obigen Gleichungen sind unter der Annahme hergeleitet worden, dass der Wärmeaustausch vereinfachend auf den Differenzen der mittleren Temperaturen beruht.

15.8.2.7 Abgastemperatur gemittelt über die Länge eines Abschnittes einer Abgasanlage

Die Abgastemperatur gemittelt über die Länge eines Abschnittes j einer Abgasanlage wird für konzentrisch angeordnete Leitungen nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{m,j} = \frac{T_{e,j} + T_{o,j}}{2} \quad \text{in K} \quad (80)$$

Dabei ist

$T_{m,j}$	die Abgastemperatur, gemittelt über die Länge eines Abschnittes j der Abgasanlage,	in K;
$T_{o,j}$	die Abgastemperatur am Ende eines Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{e,j}$	die Abgastemperatur am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K.

15.8.2.8 Zulufttemperatur gemittelt über die Länge eines Abschnittes einer Abgasanlage

Die Zulufttemperatur, gemittelt über die Länge eines Abschnittes j einer Abgasanlage, wird für konzentrisch angeordnete Leitungen nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{mB,j} = \frac{T_{eB,j} + T_{oB,j}}{2} \quad \text{in K} \quad (81)$$

Dabei ist

$T_{mB,j}$	die Temperatur der Zuluft, gemittelt über die Länge eines Abschnittes j der Abgasanlage,	in K;
$T_{oB,j}$	die Zulufttemperatur am Ende eines Abschnittes j der Abgasanlage	in K;
$T_{eB,j}$	die Zulufttemperatur am Anfang eines Abschnittes j der Abgasanlage	in K.

15.8.2.9 Iteration

Für die Berechnung von $T_{o,j}$ und $T_{oB,j}$ ist es erforderlich die entsprechenden Zulufttemperaturen $T_{eB,j}$ an allen Knotenpunkten zu kennen. Für die Zulufttemperatur an der Einführung in den obersten Abschnitt der Abgasanlage N_{seg} wird die folgende Gleichung verwendet:

$$T_{eB,Nseg} = T_L \quad \text{in K} \quad (82)$$

Beginnend mit einem angenommenen Startwert für $T_{eB,j}$ werden die Gleichungen (64) bis (81) in entsprechenden Wiederholungen angewendet, die Näherung für $T_{eB,j}$ erfolgt für $j < Nseg$ solange, bis folgende Bedingung erfüllt ist:

$$|T_{eB,j} - T_{oB,j+1}| \leq \frac{\varepsilon}{Nseg} \quad \text{für } j < Nseg \quad \text{in K} \quad (83)$$

Bei der Berechnung der Zulufttemperaturen von der Sohle bis zum Austritt von konzentrisch angeordneten Luft-Abgassystemen ist folgende Gleichung anzuwenden:

$$T_{oB,j} = T_{eB,j-1} \quad \text{für } j > 1 \quad \text{in K} \quad (84)$$

Die Iteration zur Ermittlung von $T_{oB,1}$ ist solange fortzusetzen, bis folgende Bedingung erfüllt ist:

$$|T_{eB,Nseg} - T_L| \leq \varepsilon \quad \text{in K} \quad (85)$$

Dabei ist

$T_{eB,Nseg}$	die Zulufttemperatur am Eintritt in den Abschnitt $Nseg$ der Abgasanlage	in K;
T_L	die Außenlufttemperatur	in K;
$T_{eB,j}$	die Zulufttemperatur am Eintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in K;
$T_{oB,j+1}$	die Zulufttemperatur am Ende des Abschnittes $j+1$ der Abgasanlage	in K;
$Nseg$	die Anzahl der Abschnitte der Abgasanlage für die Berechnung	–;
ε	der maximale Gleichzeitigkeitsfaktor, wird mit 1 (K) angenommen	in K.

ANMERKUNG Solange die Bedingungen der Gleichungen (85) und (87) erfüllt sind, dürfen zur Lösung der Gleichungen (64) bis (82) auch andere mathematischen Methoden angewendet werden.

15.8.3 Konzentrische Verbindungsstücke

15.8.3.1 Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Abgas und Zuluft von konzentrischen Verbindungsstücken

Der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Abgas und Zuluft von konzentrischen Verbindungsstücken j wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$k_{V,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + S_H \left[\left(\frac{1}{\lambda} \right)_{V,j} + \frac{D_{hV,j}}{D_{haV,j} \cdot \alpha_{aV,j} \cdot S_{rad}} \right]} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (86)$$

Dabei ist

$k_{V,j}$	der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Abgas und der Zuluft des Verbindungsstückes j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
S_H	der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	–;

$\left(\frac{1}{\lambda}\right)_{V,j}$	der Wärmedurchlasswiderstand zwischen Abgas und Zuluft im Verbindungsstück j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$D_{hV,j}$	der hydraulische Durchmesser der Abgasleitung im konzentrischen Verbindungsstück j	in m;
$D_{haV,j}$	der äußere hydraulische Durchmesser der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$\alpha_{iV,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem Abgas und der inneren Oberfläche des konzentrischen Verbindungsstückes j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$\alpha_{aV,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Zuluft und der äußeren Oberfläche der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
S_{rad}	der Korrekturfaktor für Wärmeübertragung durch Strahlung	–.

Für konzentrische Verbindungsstücke wird der Korrekturfaktor S_H mit 1 angenommen.

Um den Strahlungseinfluss von der äußeren Oberfläche der Abgasleitung auf die innere Oberfläche des Zuluftschachtes zu berücksichtigen, enthält k_j einen Korrekturfaktor S_{rad} , für den der Wert 2 angenommen wird.

Für konzentrische Verbindungsstücke, bei denen die Innenwandtemperatur der Abgasleitung immer niedriger ist als die Taupunkttemperatur, ist der Wert für $S_{rad} = 1$ zu setzen.

$\alpha_{aV,j}$ ist nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\alpha_{aV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} \cdot Nu_{aV,j}}{D_{hBV,j}} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (87)$$

mit

$$D_{hBV,j} = \frac{4 \cdot A_{BV,j}}{U_{aV,j} + U_{iBV,j}} \quad \text{in m} \quad (88)$$

$$Nu_{aV,j} = 0,86 \left(\frac{D_{hBV,j}}{D_{hVa,j}} \right)^{0,16} \cdot Nu_{BV,j} \quad (89)$$

und

$$Nu_{BV,j} = \left[\frac{\psi_{BV,j}}{\psi_{smoothBV,j}} \right]^{0,67} \times 0,0214 \left(Re_{BV,j}^{0,8} - 100 \right) \cdot Pr_{BV,j}^{0,4} \left(1 + \frac{D_{hBV,j}}{L_{V,j}} \right)^{0,67} \quad (90)$$

$$Re_{BV,j} = \frac{w_{BV,j} \cdot D_{hBV,j}}{\nu_{BV,j}} \quad (91)$$

Dabei ist

$\lambda_{BV,j}$	die Wärmeleitfähigkeit der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	in $\frac{W}{m \cdot K}$;
$Nu_{aV,j}$	die Nusselt-Zahl für die äußere Oberfläche der Abgasleitung zur Zuluftleitung j	–;
$D_{hBV,j}$	der hydraulische Durchmesser der Zuluftzuführung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$A_{BV,j}$	die Querschnittsfläche der Zuluftzuführung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m ² ;
$D_{hVai,j}$	der äußere hydraulische Durchmesser der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$U_{iBV,j}$	der innere Umfang der Zuluftleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$U_{aVi,j}$	der äußere Umfang der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$Nu_{BV,j}$	die Nusselt-Zahl für einen Referenzmassenstrom für ein konzentrisches Verbindungsstück j	–;
$\psi_{BV,j}$	der höhere Wert der Rohrreibungszahl an der Innenseite der Zuluftleitung oder an der Außenseite der Abgasleitung im konzentrischen Verbindungsstück j	–;
$\psi_{smoothBV,j}$	der Reibungsbeiwert für die Zuluft im Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j für laminare Strömung	–;
$Re_{BV,j}$	die Reynolds-Zahl im Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j	–;
$Pr_{BV,j}$	die Prandtl-Zahl der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	–;
$L_{V,j}$	die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m.

15.8.3.2 Wärmedurchgangskoeffizient zwischen der Zuluft im Zuluftschacht und der Umgebungsluft für konzentrische Verbindungsstücke

Der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen der Zuluft im Zuluftschacht und der Umgebungsluft für konzentrische Verbindungsstücke wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$k_{BV,j} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iBV,j}} + S_H \left[\left(\frac{1}{A} \right)_{BV,j} + \frac{D_{hiBV,j}}{D_{haBV,j} \cdot \alpha_{aBV,j}} \right]} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (92)$$

Dabei ist

$k_{BV,j}$	der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen der Zuluft im Zuluftschacht und der Umgebungsluft im konzentrischen Verbindungsstück j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
------------	--	------------------------------

$\alpha_{iBV,j}$	die Wärmeübergangszahl zwischen der Zuluft und der inneren Oberfläche des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$\left(\frac{1}{A}\right)_{BV,j}$	der Wärmedurchlasswiderstand des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
$D_{hiBV,j}$	der hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$D_{haBV,j}$	der äußere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
S_H	der Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	–;
$\alpha_{aBV,j}$	der Wärmeübergangskoeffizient von der Außenschale des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j zur Umgebungsluft	in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Für konzentrische Verbindungsstücke wird S_H als 1 angenommen.

Zur Berechnung von $\alpha_{iVB,j}$ wird folgende Gleichung verwendet:

$$\alpha_{iBV,j} = \frac{\lambda_{BV,j} \cdot Nu_{iBV,j}}{D_{hBV,j}} \quad \text{in } \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (93)$$

mit

$$Nu_{iBV,j} = \left[1 - 0,14 \left(\frac{D_{haV,j}}{D_{hiB,j}} \right)^{0,6} \right] \cdot Nu_{BV,j} \quad (94)$$

$Nu_{BV,j}$ wird nach Gleichung (90) und $D_{hBV,j}$ nach Gleichung (91) berechnet.

Dabei ist

$\lambda_{BV,j}$	die Wärmeleitfähigkeit der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	in $\frac{W}{m \cdot K}$;
$Nu_{BV,j}$	die Nusselt-Zahl für einen Referenzmassenstrom im konzentrischen Verbindungsstück j	–;
$Nu_{iBV,j}$	die Nusselt-Zahl für die Innenseite des Luftschahtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	–;
$D_{hBV,j}$	der hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$D_{hiBV,j}$	der innere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m;
$D_{haV,j}$	der äußere hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in m.

15.8.3.2.1 Abkühlzahl für die Abgasleitung eines konzentrischen Verbindungsstückes

Die Abkühlzahl für die Abgasleitung eines konzentrischen Verbindungsstückes wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{V,j} = \frac{k_{V,j} \cdot U_{V,j} \cdot L_{V,j}}{\dot{m}_{V,j} \cdot c_{pV,j}} \quad (95)$$

Dabei ist

- $K_{V,j}$ die Abkühlzahl der Abgasleitung eines konzentrischen Verbindungsstückes j –;
- $k_{V,j}$ der Wärmedurchgangskoeffizient zwischen dem Abgasstrom und dem Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
- $U_{V,j}$ der Umfang der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j in m;
- $L_{V,j}$ die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes j in m;
- $\dot{m}_{V,j}$ der Abgasmassenstrom im konzentrischen Verbindungsstück j in kg/s;
- $c_{pV,j}$ die spezifische Wärmekapazität des Abgases im konzentrischen Verbindungsstück j in $\frac{J}{kg \cdot K}$.

15.8.3.2.2 Abkühlzahl im Zuluftschacht eines konzentrischen Verbindungsstückes

Die Abkühlzahl im Zuluftschacht eines konzentrischen Verbindungsstückes j wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{BV,j} = \frac{k_{BV,j} \cdot U_{iBV,j} \cdot L_{V,j}}{\dot{m}_{BV,j} \cdot c_{pBV,j}} \quad (96)$$

Dabei ist

- $K_{BV,j}$ die Abkühlzahl im Zuluftschacht eines konzentrischen Verbindungsstückes j –;
- $k_{BV,j}$ der Wärmedurchgangskoeffizient Zwischen Zuluft und der Umgebungsluft im konzentrischen Verbindungsstück j in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$;
- $U_{iBV,j}$ der innere Umfang des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j in m;
- $L_{V,j}$ die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes j in m;
- $\dot{m}_{BV,j}$ die Massenstrom der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j in kg/s;
- $c_{pBV,j}$ die spezifische Wärmekapazität des Abgases im konzentrischen Verbindungsstück j in $\frac{J}{kg \cdot K}$.

15.8.3.3 Abgastemperatur am Ende des konzentrischen Verbindungsstückes ($T_{oV,j}$)

Die Abgastemperatur am Ende des konzentrischen Verbindungsstückes j wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{oV,j} = \frac{(2 - K_{V,j}) \cdot (2 + K_{BV,j}) \cdot T_{W,j} + 2K_{V,j} (E_{V,j} \cdot T_{W,j} + 2T_{eBV,j} + K_{BV,j} \cdot T_{uV,j})}{(2 + K_{V,j}) \cdot (2 + K_{BV,j}) + 2K_{V,j} \cdot E_{V,j}} \quad \text{in K} \quad (97)$$

mit

$$E_{V,j} = \frac{\dot{m}_{V,j} \cdot c_{pV,j}}{\dot{m}_{BV,j} \cdot c_{pBV,j}} \quad (98)$$

$$T_{eBV,j} = T_{oB,j} \quad (99)$$

Dabei ist

$T_{oV,j}$	die Abgastemperatur am Ende des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$T_{W,j}$	die Abgastemperatur am Abgasstutzen der Feuerstätte j	in K;
$T_{eBV,j}$	$\overline{A_1}$ Temperatur der Zuluft an der Stelle der Einführung in den Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j $\overline{A_1}$	in K;
$T_{uV,j}$	die Umgebungslufttemperatur des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$K_{V,j}$	die Abkühlzahl der Abgasleitung im konzentrischen Verbindungsstück j	–;
$K_{BV,j}$	die Abkühlzahl im Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j	–;
$\dot{m}_{V,j}$	der Abgasmassenstrom im konzentrischen Verbindungsstück j	in kg/s;
$c_{pV,j}$	die spezifische Wärmekapazität des Abgases im konzentrischen Verbindungsstück j	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$\dot{m}_{BV,j}$	der Massenstrom der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	in kg/s;
$c_{pBV,j}$	die spezifische Wärmekapazität der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$E_{V,j}$	der Quotient des Wärmeflusses zwischen Abgas und der Zuluft im konzentrischen Verbindungsstück j	–;
$T_{oB,j}$	die Zulufttemperatur am Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	in K.

ANMERKUNG 1 Gleichung (97) beruht auf der Annahme, dass der Wärmeaustausch näherungsweise aus den Unterschieden der Mitteltemperaturen errechnet wird.

Die Temperatur der Zuluft am Ende des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{oBV,j} = T_{W,j} + T_{oV,j} - T_{eBV,j} - \frac{2}{K_{V,j}} (T_{W,j} - T_{oV,j}) \quad \text{in K} \quad (100)$$

Dabei ist

$T_{oV,j}$	die Temperatur der Zuluft am Ende des Zuluftschachtes des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$T_{W,j}$	die Abgastemperatur am Abgasstutzen der Feuerstätte j	in K;
$T_{oBV,j}$	die Temperatur der Zuluft am oberen Ende des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$T_{eBV,j}$	die Temperatur der Zuluft an der Einführung in das konzentrische Verbindungsstück j	in K;
$K_{V,j}$	die Abkühlzahl des Abgases des konzentrischen Verbindungsstückes j	–.

ANMERKUNG 2 Zusätzlich zur Überprüfung der Temperaturbedingung der Abgasanlage kann auch eine Überprüfung der Zulufttemperatur am Ende der Zuluftzuführung eines konzentrischen Abgasrohres $T_{oBV,j}$ erforderlich sein, wenn vom Hersteller der Feuerstätte eine Höchsttemperatur für die Zuluft angegeben ist.

15.8.3.4 Abgastemperatur gemittelt über die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes

Die Abgastemperatur gemittelt über die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{mV,j} = \frac{T_{W,j} + T_{oV,j}}{2} \quad \text{in K} \quad (101)$$

Dabei ist

$T_{mV,j}$	die Abgastemperatur, gemittelt über die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes j,	in K;
$T_{oV,j}$	die Abgastemperatur am Ende der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$T_{W,j}$	die Abgastemperatur am Abgasstutzen der Feuerstätte j	in K.

15.8.3.5 Temperatur für die Zuluft gemittelt über die Länge eines konzentrischen Verbindungsstückes

Die Temperatur für die Zuluft, gemittelt über die Länge eines konzentrischen Verbindungsstückes j, wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{mBV,j} = \frac{T_{eBV,j} + T_{oBV,j}}{2} \quad \text{in K} \quad (102)$$

Dabei ist

$T_{mBV,j}$	die Temperatur für die Zuluft, gemittelt über die Länge des konzentrischen Verbindungsstückes j,	in K;
$T_{oBV,j}$	die Temperatur für die Zuluft am Ende der Abgasleitung des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K;
$T_{eBV,j}$	die Temperatur der Zuluft an der Stelle der Einführung in den Zuluftschacht des konzentrischen Verbindungsstückes j	in K.

15.9 $\overline{A_1}$ Drücke in den Zuluftschächten $\overline{A_1}$

15.9.1 $\overline{A_1}$ Ruhedruck im Zuluftschacht des Abschnitts j der Abgasanlage $\overline{A_1}$

Der Ruhedruck im Zuluftschacht von Luft-Abgassystemen mit unterschiedlichen Schächten in der Form und für Schächte mit konzentrischen Abgasleitungen, wobei der Wärmedurchgangskoeffizient größer als $0,65 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ mit 0 anzusetzen ist.

Der Ruhedruck $\overline{A_1}$ *gestrichener Text* $\overline{A_1}$ des $\overline{A_1}$ Zuluftschachtes $\overline{A_1}$ des Abschnittes j der Abgasanlage oder anderer Luft-Abgassysteme wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{HB,j} = H_j g (\rho_L - \rho_{mB,j}) \quad \text{in Pa} \quad (103)$$

Dabei ist

$P_{HB,j}$	der Ruhedruck $\overline{A_1}$ des Zuluftschachtes $\overline{A_1}$ des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
H_j	die Höhe des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
g	die Erdanziehung = 9,81	in m/s ² ;
ρ_L	die Dichte der Umgebungsluft	in kg/m ³ ;
$\rho_{mB,j}$	die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage,	in kg/m ³ .

ANMERKUNG Erfahrungsgemäß ist es ratsam, für den Querschnitt des konzentrischen Zuluftschachtes einen Mindestwert vorzusehen. Es wird empfohlen dafür den 1,5-fachen Wert des Querschnittes des Abgasrohres anzusetzen.

15.9.2 Ruhedruck $\overline{A_1}$ *gestrichener Text* $\overline{A_1}$ des Luftzuführungsschachtes des Verbindungsstückes

Der Ruhedruck im Zuluftschacht von Luft-Abgassystemen mit unterschiedlichen Schächten in der Form und für Schächte mit konzentrischen Abgasleitungen, wobei der Wärmedurchgangskoeffizient größer als $0,65 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ mit 0 anzusetzen ist.

$\overline{A_1}$ *gestrichener Text* $\overline{A_1}$

Der Ruhedruck $\overline{A_1}$ *gestrichener Text* $\overline{A_1}$ der Zuluft in den Zuluftschacht des Verbindungsstückes j wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{HBV,j} = H_{V,j} g (\rho_L - \rho_{mBV,j}) \quad \text{in Pa} \quad \overline{A_1} (104) \overline{A_1}$$

Dabei ist

$P_{HBV,j}$	der Ruhedruck im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	in Pa;
$H_{V,j}$	die Höhe des Verbindungsstückes j	in m;
g	die Erdanziehung = 9,81,	in m/s ² ;
ρ_L	die Dichte der Umgebungsluft	in kg/m ³ ;
$\rho_{mBV,j}$	die Dichte des Abgases, gemittelt über die Länge des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j,	in kg/m ³ .

15.9.3 Widerstandsdruck im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage ($P_{RB,j}$)

Der Widerstandsdruck im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage $P_{RB,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{RB,j} = S_{EB} \left(\psi_{B,j} \cdot \frac{L_j}{D_{hB}} + \sum \zeta_{B,j} \right) \cdot \frac{\rho_{mB,j}}{2} \cdot w_{mB,j}^2 + S_{EMB,j} \cdot P_{B31,j} + S_{EGB,j} \cdot P_{GB,j} \quad \text{in Pa} \quad \text{A1} (105) \text{A1}$$

Dabei ist

$P_{RB,j}$	der Widerstandsdruck im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$P_{B31,j}$	der Druckverlust wegen Teilung der des Zuluftstromes an der Einführung in den Zuluftschacht des Verbindungsstückes des Abschnittes j+1 der Abgasanlage	in Pa;
$P_{GB,j}$	der Druckwechsel wegen Geschwindigkeitswechsel des Luftstromes im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$\psi_{B,j}$	der Reibungsbeiwert des Zuluftschachtes des Abschnittes j der Abgasanlage	–;
L_j	die Länge des Abschnittes j	in m;
$D_{hB,j}$	der hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des Abschnittes j der Abgasanlage	in m;
$\sum \zeta_{B,j}$	die Summe der örtlichen Widerstandszahlen des Zuluftschachtes des Abschnittes j der Abgasanlage	–;
$\rho_{mB,j}$	die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	in kg/m ³ ;
$w_{mB,j}$	die Geschwindigkeit der Zuluft aufgrund der mittleren Dichte der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage	in m/s;
S_{EB}	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Zuluftschacht	–;
$S_{EMB,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Widerstandsdruck aus Teilung des Zuluftstromes ($S_{EMB,j} = S_{EB}$ für $P_{B31,j} \geq 0$ und $S_{EMB,j} = 1,0$ für $P_{B31,j} < 0$)	–;
$S_{EGB,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Widerstandsdruck wegen Geschwindigkeitswechsel des Massenstromes im Abschnitt j der Abgasanlage ($S_{EGB,j} = S_{EB}$ für $P_{GB,j} \geq 0$ und $S_{EGB,j} = 1,0$ für $P_{GB,j} < 0$)	–.

Der Druckwechsel wegen Geschwindigkeitswechsel des Massenstromes $P_{GB,j}$ im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{GB,j} = \frac{\rho_{mB,j}}{2} \cdot w_{mB,j}^2 - \frac{\rho_{mB,j+1}}{2} \cdot w_{mB,j+1}^2 \quad \text{für } j < N \quad \text{in Pa} \quad \text{A1} (106) \text{A1}$$

$$P_{GB,N} = \frac{\rho_{mB,N}}{2} \cdot w_{mB,N}^2 \quad \text{für } j = N \quad \text{in Pa} \quad \text{A1} (107) \text{A1}$$

Dabei ist

- $\rho_{mB,j}$ die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage, in kg/m³;
- $P_{GB,j}$ der Druckwechsel wegen Geschwindigkeitswechsel des Massenstromes im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage in Pa;
- $w_{mB,j}$ die Geschwindigkeit der Zuluft aufgrund der durchschnittlichen Dichte im Abschnitt j der Abgasanlage in m/s.

Druckverlust $P_{B31,j}$ infolge Teilung der Massenströme im Bereich der Einführung der Zuluft in das Verbindungsstück j+1 wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{B31,j} = \zeta_{B31,j+1} \cdot \frac{\rho_{mB,j+1}}{2} \cdot w_{mB,j+1}^2 \quad \text{für } j < N \quad \text{in Pa} \quad \boxed{A_1} \text{ (108)} \quad \boxed{A_1}$$

$$\zeta_{B31,j+1} = 0,35 \left(\frac{\dot{m}_{BV,j+1}}{\dot{m}_{B,j+1}} \right)^2 \quad \text{für } j < N \quad \boxed{A_1} \text{ (109)} \quad \boxed{A_1}$$

und

$$P_{B31,N} = 0 \quad \text{in Pa} \quad \boxed{A_1} \text{ (110)} \quad \boxed{A_1}$$

Dabei ist

- $P_{B31,j}$ der Druckverlust infolge Teilung der Massenströme im Bereich der Einführung der Zuluft in das Verbindungsstück j+1 in Pa;
- $\rho_{mB,j}$ die Dichte der Zuluft gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage in kg/m³;
- ζ_{B31j} der Widerstandsbeiwert wegen Teilung der Massenströme für die Zuluft an der Einführung in den Zuluftschacht des Verbindungsstückes j+1 –;
- $\dot{m}_{BV,j}$ der Massenstrom der Zuluft im Verbindungsstück j in kg/s;
- $\dot{m}_{B,j}$ der Massenstrom der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage in kg/s;
- $\rho_{mB,j}$ die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage, in kg/m³.

15.9.4 Widerstandsdruck des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j ($P_{RBV,j}$)

$$P_{RBV,j} = S_{EB} \left(\psi_{BV,j} \cdot \frac{L_{V,j}}{D_{hBV,j}} + \sum \zeta_{BV,j} \right) \cdot \frac{\rho_{mBV,j}}{2} \cdot w_{mBV,j}^2 + S_{EMBV,j} \cdot P_{B32,j} + S_{EGBV,j} \cdot P_{GBV,j} \quad \text{in Pa} \quad \boxed{A_1} \text{ (111)} \quad \boxed{A_1}$$

Dabei ist

$P_{RBV,j}$	der Widerstandsdruck des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j	in Pa;
$P_{B32,j}$	der Druckverlust wegen Teilung des Massenstromes für die Zuluft an der Einführung des Luftschachtes des Verbindungsstückes in den Abschnitt j+1 der Abgasanlage	in Pa;
$P_{GBV,j}$	der Druckwechsel infolge Geschwindigkeitswechsel des Massenstromes im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	in Pa;
$\Psi_{BV,j}$	der Reibungsbeiwert im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	–;
$L_{V,j}$	die Länge des Verbindungsstückes j	in m;
$D_{hBV,j}$	der hydraulische Durchmesser des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j	in m;
$\Sigma \zeta_{BV,j}$	die Summe der örtlichen Widerstandszahlen im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	–;
$\rho_{mBV,j}$	die Dichte der Zuluft, gemittelt über der Länge des Verbindungsstückes j	in kg/m ³ ;
$w_{mBV,j}$	die Geschwindigkeit der Zuluft auf Grund der mittleren Dichte der Zuluft im Verbindungsstück j	in m/s;
S_{EB}	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Zuluftschacht	–;
$S_{EMBV,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Widerstandsdruck wegen Teilung der Massenströme für die Zuluft in das Verbindungsstück j ($S_{EMBV,j} = S_{EB}$ für $P_{B32,j} \geq 0$ und $S_{EMBV,j} = 1,0$ für $P_{B32,j} < 0$)	–;
$S_{EGBV,j}$	die strömungstechnische Sicherheitszahl für den Widerstandsdruck wegen Geschwindigkeitswechsel des Massenstromes im Verbindungsstück j ($S_{EGBV,j} = S_{EB}$ für $P_{GBV,j} \geq 0$ und $S_{EGBV,j} = 1,0$ für $P_{GBV,j} < 0$)	–.

Der Druckwechsel wegen Geschwindigkeitswechsel im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j $P_{GBV,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{GBV,j} = \frac{\rho_{mBV,j}}{2} \cdot w_{mBV,j}^2 - \frac{\rho_{mB,j}}{2} \cdot w_{mB,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad \text{A1} (112) \text{A1}$$

Dabei ist

$P_{GBV,j}$	der Druckwechsel wegen Geschwindigkeitswechsel im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j	in Pa;
$\rho_{mBV,j}$	die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j	in kg/m ³ ;

- $\rho_{mB,j}$ die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage in kg/m³;
- $w_{mBV,j}$ die Geschwindigkeit des Zuluftmassenstromes im Verbindungsstück j in m/s;
- $w_{mB,j}$ die Geschwindigkeit des Zuluftmassenstromes auf Grund der mittleren Dichte der Zuluft im Verbindungsstück j in m/s.

Der Druckverlust $P_{B32,j}$ wegen Teilung der Zuluft an der Einführung in den Zuluftschacht des Verbindungsstückes j wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$P_{B32,j} = \zeta_{B32,j} \cdot \frac{\rho_{mB,j}}{2} \cdot w_{mB,j}^2 \quad \text{in Pa} \quad \text{A1} \quad (113) \quad \text{A1}$$

mit

$$\zeta_{B32,j} = \left[1 - 0,3 \left(\frac{A_B}{A_{BV,j}} \right)^{0,27} \cdot \left(\frac{\dot{m}_{BV,j}}{\dot{m}_{B,j}} \right)^{0,11} \right] \cdot \left[1 - 2 \frac{\dot{m}_{BV,j}}{\dot{m}_{B,j}} \cdot \frac{A_B}{A_{BV,j}} \cdot \cos \gamma_{j,j} + \left(\frac{\dot{m}_{BV,j}}{\dot{m}_{B,j}} \cdot \frac{A_B}{A_{BV,j}} \right)^2 \right] \quad \text{A1} \quad (114) \quad \text{A1}$$

Dabei ist

- $P_{B32,j}$ der Druckverlust wegen Teilung der Zuluft an der Einführung in den Zuluftschacht des Verbindungsstückes j+1 in Pa;
- $w_{mB,j}$ die Geschwindigkeit des Zuluftmassenstromes auf Grund der mittleren Dichte der Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage in m/s;
- $\rho_{mB,j}$ die Dichte des Zuluftmassenstromes gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage in kg/m³;
- A_B die Querschnittsfläche des Zuluftschachtes der Abgasanlage in m²;
- $A_{BV,j}$ die Querschnittsfläche des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j in m²;
- $\dot{m}_{BV,j}$ der Massenstrom für die Zuluft im Verbindungsstück j in kg/s;
- $\dot{m}_{B,j}$ der Massenstrom für die Zuluft im Abschnitt j der Abgasanlage in kg/s;
- $\text{A1} \quad \gamma_j$ der Verbindungswinkel des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j und des Zuluftschachtes des Abschnittes j der Abgasanlage –. A1

Liegen Herstellerangaben vor, sind diese Werte einzusetzen.

15.10 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft

15.10.1 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft im Zuluftschacht gemittelt über die Länge eines Abschnittes der Abgasanlage

Bei der Berechnung eines Luft-Abgassystems mit einem Abgasschacht mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten kleiner oder höchstens gleich $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$ wird die Temperatur der Zuluft variieren, und daher muss konsequenterweise die Dichte berechnet werden. Die Dichte der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge eines Abschnittes j , $\rho_{mB,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\rho_{mB,j} = \frac{p_L}{R_L \cdot T_{mB,j}} \quad \text{in kg/m}^3 \quad \text{A1} \quad (115) \quad \text{A1}$$

Dabei ist

$\rho_{mB,j}$	die Dichte der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge eines Abschnittes j	in kg/m^3 ;
p_L	die Außenluftdruck	in Pa;
R_L	die Gaskonstante der Luft	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$T_{mB,j}$	die Temperatur der Zuluft im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage	in K.

Die Geschwindigkeit der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge des Abschnittes j , der Abgasanlage $w_{mB,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$w_{mB,j} = \frac{\dot{m}_{B,j}}{A_{B,j} \cdot \rho_{mB,j}} \quad \text{in m/s} \quad \text{A1} \quad (116) \quad \text{A1}$$

Dabei ist

$w_{mB,j}$	A1 die Geschwindigkeit der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage A1	in $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$;
$\dot{m}_{B,j}$	der Massenstrom der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge des Abschnittes j der Abgasanlage,	in K;
$A_{B,j}$	die Querschnittsfläche des Luftschaftes des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa;
$\rho_{mB,j}$	die Dichte des Zuluftmassenstromes im Zuluftschacht, gemittelt über der Länge des Abschnittes j der Abgasanlage	in kg/m^3 .

15.10.2 Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes

Bei der Berechnung eines Luft-Abgassystems mit einer Abgasleitung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten kleiner oder höchstens gleich 0,65 W/m²K variiert die Temperatur der Zuluft, und deshalb ist es erforderlich, die Dichte zu berechnen. Die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j, $\rho_{mBV,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\rho_{mBV,j} = \frac{p_L}{R_L \cdot T_{mB,j}} \quad \text{in kg/m}^3 \quad \text{A1} \quad (117) \quad \text{A1}$$

Dabei ist

$\rho_{mBV,j}$ die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j in kg/m³;

p_L die Außenluftdruck in Pa;

R_L die Gaskonstante der Luft in $\frac{J}{kg \cdot K}$;

$T_{mBV,j}$ die Temperatur der Zuluft im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage in K.

Die Geschwindigkeit der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j, $w_{mBV,j}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$w_{mBV,j} = \frac{\dot{m}_{BV,j}}{A_{BV,j} \cdot \rho_{mBV,j}} \quad \text{in m/s} \quad \text{A1} \quad (118) \quad \text{A1}$$

Dabei ist

$w_{mBV,j}$ die Geschwindigkeit der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j in $\frac{J}{kg \cdot K}$;

$\dot{m}_{BV,j}$ der Massenstrom der Zuluft im Zuluftschacht des Verbindungsstückes j in K;

$A_{BV,j}$ die Querschnittsfläche des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j in Pa;

$\rho_{mBV,j}$ die Dichte der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes j in kg/m³.

Anhang A (informativ)

Empfehlungen und Hinweise

Die Planung von mehrfach belegten Abgasanlagen erfordert einige Erfahrung. Einige Empfehlungen und Hinweise werden deshalb hier aufgeführt. Diese sollten, wenn zutreffend möglichst beachtet werden.

A.1 Empfehlungen bezüglich Abgasanlage und Feuerstätte

Feuerstätten, die längere Zeit nicht in Betrieb sind, sollten mit einer Abgasklappe oder einem Absperrschieber abgeschlossen werden, sofern dies erlaubt ist.

Diese Einrichtungen sollten in Zeiten, in denen keine Verbrennung stattfindet, geschlossen sein. Auf alle Fälle sollten Feuerraumtüren und Zuluftöffnungen der Feuerstätte geschlossen sein.

A.2 Empfehlungen bezüglich der Verbindungsstücke

Verbindungsstücke sollten senkrecht und direkt von der Feuerstätte in die Abgasanlage geführt werden. Ist dies so nicht möglich, so sollte seine Länge wenigstens 0,5 m nicht überschreiten. Der senkrechte Abschnitt, vom Wärmerzeuger aus, sollte höher sein als die halbe Länge des Verbindungsstückes insgesamt. Die gesamte Länge des Verbindungsstückes sollte jedoch 2,5 m nicht überschreiten.

Der lichte Querschnitt des Verbindungsstückes sollte konstant in Form und Größe sein und mindestens denselben hydraulischen Durchmesser haben wie der Abgasstutzen der Feuerstätte. Werden zwei Feuerstätten mit einem gemeinsamen Verbindungsstück an eine Abgasanlage angeschlossen, sollte der lichte Querschnitt des gemeinsamen Verbindungsstückes nach dem in dieser Norm angegebenen Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung der Summe der Nennwärmeleistungen beider Feuerstätten berechnet werden.

Anhang B (informativ)

Kennwerte für die Feuerstätte

Wenn die Faktoren b_0, b_1, b_2 und die Faktoren y_0, y_1, y_2 für die Gleichungen (10) und (11) vom Hersteller nicht angegeben sind, jedoch das Abgaswertetriple angegeben ist, kann Tabelle B.1 angewendet werden. Tabelle B.2 kann angewendet werden, wenn keine Abgaswerte angegeben sind.

Tabelle B.1 — Abgaskennwerte für Feuerstätten mit verfügbaren Abgaswerten

Feuerstätte	Betriebs- bedingung	$P_{Wc,j}$				$t_{Wc,j}$			
		b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	y_0	y_1	y_2
Feuerstätte für feste Brennstoffe ohne Gebläse	ein	0	0	0	0	$P_{W,j}$	0	$t_{W,j}$	0,8
	aus	0	0	$P_{W,j}$	0	0	$t_{uV,j}$	0	0
Feuerstätte für flüssige Brennstoffe ohne Gebläse	ein	0	0	$P_{W,j}$	0	0	$t_{W,j}$	0	0
	aus	0	0	$P_{W,j}$	0	0	$t_{uV,j}$	0	0
Feuerstätte für Gas mit Strömungssicherung	ein	0	0	$P_{W,j}$	0	0	$t_{uV,j}$	$t_{W,j} - t_{uV,j}$	-1
	aus	0	0	$P_{W,j}$	0	0	$t_{uV,j}$	0	0
Feuerstätte ohne Strömungssicherungen für Gas mit Gebläse	ein	$-P_{WG,j}$	0	$P_{W,j} + P_{WG,j}$	0	0	$t_{W,j}$	0	0
	aus	0	0	$P_{W,j} + P_{WG,j}$	0	0	$t_{uV,j}$	0	0

Dabei ist

$t_{uV,j}$ die Umgebungslufttemperatur der Feuerstätte;

$t_{W,j}$ die Abgastemperatur der Feuerstätte j;

$P_{W,j}$ der notwendige Unterdruck für die Feuerstätte j;

$P_{WG,j}$ die gesicherte Druckdifferenz durch das Gebläse bei Nennwärmeleistung.

Tabelle B.2 — Abgaskennwerte von Feuerstätten, bei denen keine verfügbaren Abgaswerte vorliegen

Feuerstätte	Betriebs- bedingung	$P_{Wc,j}$					$t_{Wc,j}$			$\dot{m}_{W,j} / \dot{Q}_{N,j}$	$(CO_2)_{W,j}$
		b_0 Pa	b_1 Pa	b_2 Pa	b_3 Pa	b_4 Pa	y_0 °C	y_1 °C	y_2 °C		
Feuerstätte für feste Brennstoffe ohne Gebläse	ein	0	0	0	0	9	0	250	0,8	1,2	8,1
	aus	0	0	13,5	0	0	$t_{uv,j}$	0	0	1,2	0
Feuerstätte für flüssige Brennstoffe ohne Gebläse	ein	0	0	9	0	0	250	0	0	0,85	7,0
	aus	0	0	13,5	0	0	$t_{uv,j}$	0	0	0,85	0
Feuerstätte mit Strömungssicherung für Gas	ein	0	0	3,1	0	0	$t_{uv,j}$	130– $t_{uv,j}$	0	0,84	5,4
	aus	0	0	3,6	0	0	$t_{uv,j}$	0	0	0,84	0
Feuerstätte ohne Strömungssicherung für Gas mit Gebläse	ein	-50	0	50	0	0	$t_{W,j}$	0	0	-	-
	aus	0	0	50	0	0	$t_{uv,j}$	0	0	-	-