

	Abgasanlagen Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstätten Deutsche Fassung EN 13384-2:2003	DIN EN 13384-2
ICS 91.060.40	Chimneys — Thermal and fluid dynamic calculation methods — Part 2: Chimneys serving more than one heating appliance; German version EN 13384-2:2003 Conduit de fumée — Méthode de calcul thermo-aéraulique — Partie 2: Conduit de fumée desservant plus d'un appareil de chauffage; Version allemande EN 13384-2:2003 Die Europäische Norm EN 13384-2:2003 hat den Status einer Deutschen Norm. Nationales Vorwort Diese Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 „Abgasanlagen“ erarbeitet. Das zuständige deutsche Spiegelgremium ist der Arbeitsausschuss 1.06 „Abgasanlagen“ im Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Diese Norm enthält Festlegungen für die wärme- und strömungstechnischen Berechnungsverfahren für Querschnitte von Abgasanlagen. Diese Norm hat als Vorgänger DIN V 4705-3:1997-08. Änderungen Gegenüber DIN 4705-3:1984-07 und DIN V 4705-3:1997-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen: — Die vorliegende Norm enthält jetzt auch Berechnungsverfahren für Kaskadenschaltungen der Wärmeerzeuger und Luft-Abgas-Systeme (LAS). Frühere Ausgaben DIN 4705-3: 1984-07 DIN V 4705-3: 1997-08	Ersatz für DIN 4705-3:1984-07 DIN V 4705-3:1997-08 Fortsetzung 68 Seiten EN
	Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN	

— Leerseite —

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

Conduits de fumée —
Méthodes 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.

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 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
3.1 Abschnitt einer Abgasanlage.....	6
3.2 Abschnitt des Sammlers.....	6
3.3 Luft-Abgas-System.....	6
3.4 Abgasmassenstrom ($\dot{m}$).....	6
3.4.1 Deklarierter Abgasmassenstrom ($\dot{m}_{W,j}$).....	6
3.4.2 Berechneter Abgasmassenstrom ($\dot{m}_{Wc,j}$).....	6
3.5 Berechnete Temperatur des Abgasmassenstromes ($T_{Wc,j}$).....	6
3.6 Errechneter Förderdruck des Abgases eines Wärmeerzeugers ($P_{Wc,j}$).....	6
3.7 Abgasklappe.....	6
3.8 Luft-Abgasanlage.....	6
3.9 Kaskadenschaltung.....	6
3.10 Mehrfachanschluss.....	7
3.11 Zuluftleitung.....	7
3.12 Überströmöffnung.....	7
4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	7
5 Berechnungsverfahren	9
5.1 Allgemeine Grundsätze.....	9
5.2 Druckbedingung.....	10
5.3 Bedingungen für den Massenstrom.....	12
5.4 Druckbedingung.....	12
5.5 Temperaturbedingung.....	12
5.6 Berechnungsgang.....	13
6 Abgaskennlinien für die Wärmeerzeuger	16
7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück	17
8 Grundwerte für die Berechnung	17
8.1 Lufttemperaturen.....	17
8.1.1 Außenlufttemperatur (T_L).....	17
8.1.2 Umgebungslufttemperatur (T_u).....	17
8.2 Außenluftdruck (p_L).....	18
8.3 Gaskonstante.....	18
8.3.1 Gaskonstante der Luft (R_L).....	18
8.3.2 Gaskonstante des Abgases (R).....	18
8.4 Dichte der Außenluft (ρ_L).....	18
8.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases (c_p).....	18
8.6 Wasserdampfgehalt ($\sigma(H_2O)_j$) und Taupunkttemperatur (T_{sp}).....	18
8.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (S_H).....	18
8.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl (S_E).....	18
8.9 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient.....	18
9 Ermittlung der Temperaturen	19
10 Berechnung der Mischungsvorgänge	20
10.1 Abgasmassenstrom ($\dot{m}_{,j}$).....	20
10.2 Abgastemperatur am Eintritt in einen Abschnitt einer Abgasanlage ($T_{e,j}$).....	21
10.3 CO ₂ -Gehalt des Abgases im Abschnitt j einer Abgasanlage ($\sigma(CO_2)_j$).....	21

10.4	H ₂ O-Gehalt des Abgases ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_j$).....	21
10.5	Gaskonstante des Abgases (R_j).....	21
10.6	Stoffdaten	21
10.6.1	Spezifische Wärmekapazität ($c_{pV,j}$), ($c_{p,j}$).....	21
10.6.2	Wärmeleitfähigkeit des Abgases ($\lambda_{AV,j}$), ($\lambda_{A,j}$).....	22
10.6.3	Dynamische Viskosität ($\eta_{AV,j}$), ($\eta_{A,j}$)	22
11	Dichte und Geschwindigkeiten des Abgases	23
12	Unterdruck am Ende des Verbindungsstückes und Unterdruck an der Einmündung in den Abschnitt der Abgasanlage	24
12.1	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage	24
12.1.1	Ruhedruck in einem Abschnitt der Abgasanlage ($P_{H,j}$).....	24
12.1.2	Widerstandsdruck im Abschnitt j der Abgasanlage ($P_{R,j}$).....	24
12.2	Unterdruck an der Mündung des Verbindungsstückes ($P_{Ze,j}$).....	27
12.2.1	Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück ($P_{V,j}$)	27
12.2.2	Förderdruck für die Zuluft ($P_{B,j}$).....	30
13	Innenwandtemperatur (T_{iob})	30
14	Kaskadenschaltungen.....	31
14.1	Grundzüge des Berechnungsverfahrens	31
14.2	Druckbedingung	31
14.3	Bedingungen für den Massenstrom	33
14.4	Druckbedingung	34
14.5	Temperaturbedingung.....	34
14.6	Berechnungsgang	35
14.7	Unterdruck an der Mündung des Verbindungsstückes und Unterdruck an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt	35
14.7.1	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Sammlerabschnitt ($P_{ZC,j,l}$)	35
14.7.2	Unterdruck an der Mündung des Verbindungsstückes ($P_{ZeC,j,l}$)	38
14.8	Innenwandtemperatur ($T_{iobC,j,l}$)	40
15	Luft-Abgasanlagen	40
15.1	Grundzüge des Berechnungsverfahrens	40
15.2	Druckbedingung	40
15.3	Bedingung für den Massenstrom.....	41
15.4	Druckbedingung	41
15.5	Temperaturbedingung.....	42
15.6	Berechnungsgang für Luft-Abgasanlagen.....	42
15.7	Massenstrom für die Zuluft.....	44
15.8	Temperaturbestimmung in Luft-Abgas-Systemen	45
15.8.1	Einzelne Schächte	45
15.8.2	Konzentrische Schächte	45
15.8.3	Konzentrische Verbindungsstücke.....	52
15.9	Widerstandsdruck im Zuluftschacht.....	59
15.9.1	Ruhedruck am Ende des Zuluftschachtes	59
15.9.2	Ruhedruck am Ende der Zuluftleitung eines Verbindungsstückes.....	59
15.9.3	Widerstandsdruck im Zuluftschacht des Abschnittes j der Abgasanlage ($P_{RB,j}$).....	60
15.9.4	Widerstandsdruck des Zuluftschachtes des Verbindungsstückes j ($P_{RBV,j}$).....	62
15.10	Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft.....	63
15.10.1	Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft im Zuluftschacht, gemittelt über die Länge eines Abschnittes der Abgasanlage	63
15.10.2	Dichte und Geschwindigkeit der Zuluft, gemittelt über die Länge des Verbindungsstückes	64
Anhang A (informativ)	Empfehlungen und Hinweise	66
A.1	Empfehlungen bezüglich Abgasanlage und Wärmeerzeuger	66
A.2	Empfehlungen bezüglich der Verbindungsstücke	66
Anhang B (informativ)	Kennwerte für den Wärmeerzeuger	67

Vorwort

Dieses Dokument EN 13384-2:2003 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 November 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis November 2003 zurückgezogen werden.

Diese Norm gehört zu einer Normenreihe, die vom 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn und Vereinigtes Königreich.

Einleitung

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

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

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

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normenreihe EN 13384 legt Berechnungsmethoden für die wärme- und strömungstechnischen Eigenschaften von mehrfach belegten Abgasanlagen fest. Dieser Normteil umfasst zwei Fälle:

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

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

Dieser Teil der Normenreihe EN 13384 befasst sich mit Unterdruck-Abgasanlagen und gilt für Abgasanlagen, an die Wärmeerzeuger für flüssige, gasförmige und feste Brennstoffe angeschlossen werden.

Dieser Teil der Normenreihe EN 13384 gilt nicht für:

- Abgasanlagen mit unterschiedlichen Wärmedurchlasswiderständen oder unterschiedlichen Querschnitten in den verschiedenen Abschnitten der Abgasanlage; Energiegewinne werden durch diesen Teil der Normenreihe 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 ventilatorunterstützten-Überdruckbrennern oder Naturzugkesseln;
- Abgasanlagen mit Mehrfachanschlüssen aus mehr als 5 Geschossen (dies gilt nicht für Luft-Abgasanlagen);
- Abgasanlagen, an die Wärmeerzeuger 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).

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

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

prEN 12391-1:2000, *Abgasanlagen — Ausführungsbestimmungen für Metallschornsteine und Innenrohre*.

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN 1443:2003, EN 13384-1:2002 und prEN 12391-1:2000 angegebenen und die folgenden Begriffe:

3.1 Abschnitt einer Abgasanlage

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

3.2 Abschnitt des Sammlers

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

3.3 Luft-Abgas-System

ein System von konzentrischen oder parallelen Leitungen für den Transport von Verbrennungsluft aus dem Freien zum Wärmeerzeuger und von Verbrennungsprodukten vom Wärmeerzeuger ins Freie

3.4 Abgasmassenstrom ($\dot{m}$)

Masse des Abgases vom Wärmeerzeuger durch das Verbindungsstück in der Zeiteinheit; bei Abgasanlagen mit Mehrfachbelegung bezeichnet man als Abgasmassenstrom auch die Luftmasse, die durch einen nicht in Betrieb befindlichen Wärmeerzeuger strömt.

3.4.1 Deklarierter Abgasmassenstrom ($\dot{m}_{w,j}$)

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

3.4.2 Berechneter Abgasmassenstrom ($\dot{m}_{wc,j}$)

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

3.5 Berechnete Temperatur des Abgasmassenstromes ($T_{wc,j}$)

die Abgastemperatur am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom

3.6 Errechneter Förderdruck des Abgases eines Wärmeerzeugers ($P_{wc,j}$)

der Förderdruck am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom

3.7 Abgasklappe

eine 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 der Mündung der Verbrennungsprodukte der Abgasanlage ins Freie liegt, wobei Lufteintritt und Abgasaustritt so positioniert sind, dass Windeinflüsse entscheidend ausgeglichen werden

3.9 Kaskadenschaltung

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

3.10 Mehrfachanschluss

Anordnung, bei der zwei oder mehr Wärmeerzeuger 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 einem Wärmeerzeuger 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 Teil 1 dieser Normenreihe 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 einen 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 weitestgelegenen Verbindung zum Wärmeerzeuger 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 der Mündung des Verbindungsstückes des Wärmeerzeugers in der untersten Position und der Mündung des Verbindungsstückes des nächsten Wärmeerzeugers).

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
K_j	Abkühlzahl des Abschnittes j der Abgasanlage	—
k_j	Wärmedurchgangskoeffizient des Abschnittes j der Abgasanlage	$W/(m^2 \cdot K)$
$k_{ob,j}$	Wärmedurchgangskoeffizient am oberen Ende des Abschnittes j der Abgasanlage	$W/(m^2 \cdot K)$
$K_{V,j}$	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

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
$\dot{m}_{w,j}$	angegebener Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers j	kg/s
$\dot{m}_{wc,j}$	berechneter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers j	kg/s
N	Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Feuerstätten	—
Nu	Nusselt-Zahl	—
$Q_{\min,j}$	Mindest-Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers j	kW
$Q_{N,j}$	Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers j	kW
$P_{B,j}$	Förderdruck der Zuluftstelle j des Wärmeerzeugers j	Pa
$P_{Bc,j}$	berechneter Förderdruck der Zuluft für den Wärmeerzeuger 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	—
$P_{W,j}$	notwendiger Förderdruck für den Wärmeerzeuger j	Pa
$P_{Wc,j}$	berechneter Förderdruck für den Wärmeerzeuger j	Pa
$P_{Z,j}$	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	Pa
$P_{V,j}$	berechneter Widerstandsdruck des Verbindungsstückes j	Pa
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 der Mündung 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 der Mündung des Abschnittes j der Abgasanlage	K
$T_{u,j}$	Umgebungslufttemperatur des Abschnittes j der Abgasanlage	K
$T_{W,j}$	angegebene Abgastemperatur für den Wärmeerzeuger j	K
$T_{Wc,j}$	berechnete Abgastemperatur für den Wärmeerzeuger 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)

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
γ	Winkel, gebildet durch die Strömungsrichtungen, z. B. zwischen der Strömungsrichtung im Verbindungsstück und im Abschnitt der Abgasanlage	grd
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	Widerstandszahlen 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 drei Bedingungen berücksichtigt werden:

- (1) die Bedingung für den Abgasmassenstrom (Gleichungen 4 und 5);
- (2) die Druckbedingung (Gleichung 6);
- (3) die Temperaturbedingung (Gleichung 7).

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

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 Wärmeerzeuger arbeiten gleichzeitig mit Nennwärmeleistung;
- alle Wärmeerzeuger arbeiten gleichzeitig mit kleinster Nennwärmeleistung;
- ein Wärmeerzeuger arbeitet mit Nennwärmeleistung und alle anderen sind nicht in Betrieb (M Fälle);
- ein Wärmeerzeuger 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 Wärmeerzeuger gleichzeitig in Betrieb sind, darf die Validierung der Bedingung für den Abgasmassenstrom und die Überprüfung der Druckbedingung mit der größten Anzahl der Wärmeerzeuger, die in Betrieb sind, mit unterschiedlichsten Betriebsbedingungen durchgeführt werden.

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

- Die Wärmeerzeuger haben keinen Leistungsbereich;
- Die Wärmeerzeuger haben eine stationäre Wärmeleistung mit einer Obergrenze wie vom Hersteller deklariert, dieser Wert muss auf dem Kennzeichnungsschild des Wärmeerzeugers angegeben sein. In diesem Fall ist die Nennwärmeleistung die Wärmeleistung, die auf dem Kennzeichnungsschild angegeben ist.
- Wärmeerzeuger ohne Gebläse und geregelte Zuluftzufuhr, die mit festen Brennstoffen beheizt werden.

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

- Die Wärmeerzeuger haben einen größeren oder mindestens gleichen Abgasmassenstrom bei kleinster Wärmeleistung als/wie bei Nennwärmeleistung.

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

- bei Wärmeerzeugern für feste Brennstoffe ohne Gebläse und Wärmeerzeugern mit geregelter Zuluftzufuhr jeweils bei Nennwärmeleistung;
- bei Wärmeerzeugern mit Strömungssicherungen für Warmwasserbereitung außer Betrieb. Diese Wärmeerzeuger 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 Wärmeerzeugern, die mit stationärem Wärmeleistungsbereich bei dieser (Nenn-)Wärmeleistung betrieben werden;
- bei allen anderen Wärmeerzeugern, die mit kleinster Wärmeleistung betrieben werden.

Für im Gebäude angeordnete, feuchteunempfindliche Abgasanlagen genügt der Nachweis der Temperaturbedingung an der Mündung 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

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

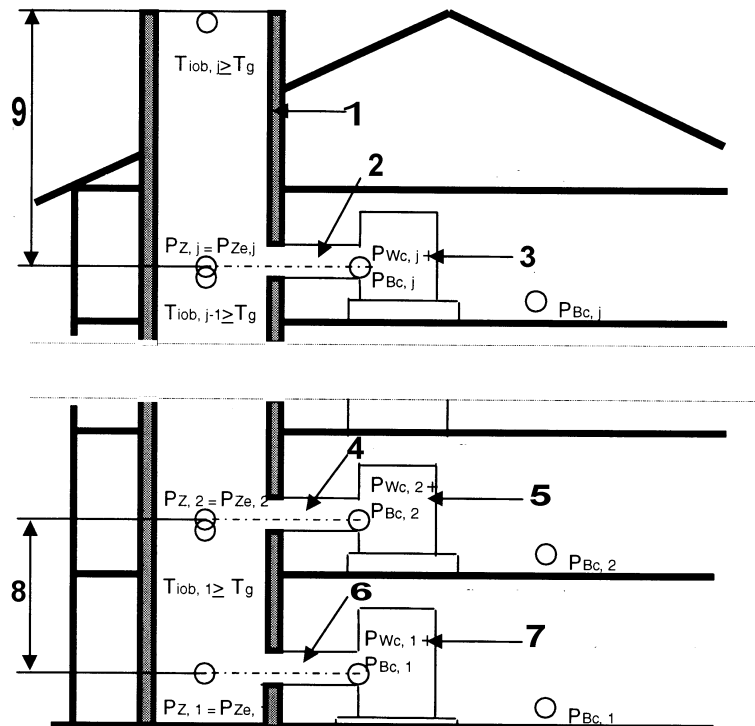
$$\left| P_{Z,j} - P_{Zc,j} \right| \leq 0,1 \quad \text{in Pa} \quad (1)$$

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

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

Dabei sind

$P_{Z,j}$	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasleitung	in Pa
$P_{H,k}$	Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasleitung	in Pa
$P_{R,k}$	Widerstandsdruck im Abschnitt k der Abgasleitung	in Pa
$P_{Wc,j}$	errechneter Förderdruck des Wärmeerzeugers	in Pa
$P_{V,j}$	errechneter Widerstandsdruck des Verbindungsstückes des Abschnittes j der Abgasanlage	in Pa
$P_{Bc,j}$	errechneter Förderdruck für die Zuluft für den Wärmeerzeuger j	in Pa
$P_{Ze,j}$	notwendiger Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa
P_L	Winddruck	in Pa
N	Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Wärmeerzeuger	



Legende

- 1 Schornstein
- 2 Verbindungsstück j
- 3 Wärmeerzeuger j
- 4 Verbindungsstück 2
- 5 Wärmeerzeuger 1
- 6 Verbindungsstück 1
- 7 Wärmeerzeuger 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

5.3 Bedingungen für den Massenstrom

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

Für jeden in Betrieb befindlichen Wärmeerzeuger gilt bei Nennwärmeleistung:

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

und für jeden nicht in Betrieb befindlichen Wärmeerzeuger:

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

Dabei ist

$$\dot{m}_{Wc,j} \quad \text{berechneter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers} \quad \text{in kg/s}$$

$$\dot{m}_{W,j} \quad \text{deklarerter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers} \quad \text{in kg/s}$$

Ist eine Abgasklappe vorhanden, so wird der Strömungswiderstand null gesetzt, so lange keine zusätzlichen Daten vorhanden sind.

5.4 Druckbedingung

Zusätzlich muss überprüft werden, dass der Unterdruck in der Abgasanlage ($P_{Z,j}$) größer oder gleich dem Unterdruck im Aufstellraum für den Wärmeerzeuger bei berechnetem Unterdruck für die Zuluftzuführung ist. Die Überprüfung der Druckbedingung muss mit den gleichen Bedingungen erfolgen, wie sie für die Überprüfung der Bedingung für den Abgasmassenstrom erfolgten (siehe 5.3 und 5.6). Die folgenden Gleichungen gelten:

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

Dabei ist

$$P_{Z,j} \quad \text{Unterdruck am Abgaseintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage} \quad \text{in Pa}$$

$$P_{Bc,j} \quad \text{errechneter Förderdruck für die Zuluft für den Wärmeerzeuger j} \quad \text{in Pa}$$

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 $T_{u0,j}$ erfüllen (siehe EN 13384-1).

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

Dabei ist

$T_{\text{io},j}$	Innenwandtemperatur an der Mündung des Abschnittes j der Abgasanlage	in K
$T_{g,j}$	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: $T_{g,j} = 273,15 \text{ K}$.

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.

- Wärmeerzeuger, die an eine Abgasanlage angeschlossen werden, die bereits in Betrieb ist, und
- die Wärmeleistung des Wärmeerzeugers, der 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 des Wärmeerzeugers 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 Formeln:

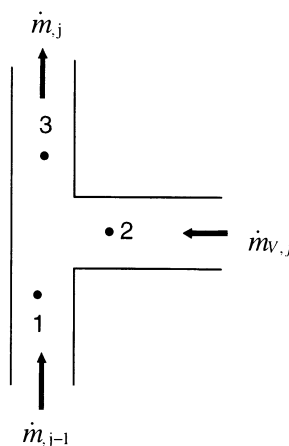


Bild 2 — Bezeichnungs- und Benummerungsbeispiel für Knoten (siehe Gleichungen 8 und 9)

— 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

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

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

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

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

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

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

$T_{o,j-1}$ Abgastemperatur an der Mündung des Abschnittes j-1 in K

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

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

— Der Unterdruck am Anfang des Abschnittes der Abgasanlage (bei Punkt 3) wird hergeleitet aus dem Unterdruck dieser Abschnitte der Abgasanlage und allen nachfolgenden Abschnitten entsprechend Gleichung 2.

ANMERKUNG Bei bestimmten gebläseunterstützten Wärmeerzeugern darf entsprechend den Herstellerangaben angenommen werden, dass der Abgasmassenstrom von dem Unterdruck in der Abgasanlage unabhängig ist. Diese Aussage soll dazu dienen, die Anzahl der Iterationen zu begrenzen.

Bei jeder Iteration sind folgende Parameter zu ermitteln (siehe auch Bild 3):

- für jeden Knotenpunkt die auftretenden Druck- (P_{ze} , P_e) und Temperaturwerte (T_1 , T_2 , T_3);
- für jeden Abschnitt zwischen zwei Knotenpunkten die Mittelwerte der tatsächlichen Temperatur, des Massenstromes und der Abgasgeschwindigkeit.

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

Jede Iteration umfasst folgende zwei Phasen:

Phase 1 Berechne die Parameter ausgehend vom niedrigsten Knotenpunkt bis zur Mündung in die Atmosphäre wie folgt:

Berechne den Abgasmassenstrom am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers

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

errechneter Massenstrom (Gleichung 13);

mittlere Dichte des Abgases/der Luft (Gleichung 29);

mittlere Geschwindigkeit des Abgases/der Luft (Gleichung 30);

Abgas-/Lufttemperatur an der Mündung (siehe EN 13384-1, 5.8);

mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1, 5.8).

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

errechneter Massenstrom vor/nach Beimischung durch die entsprechenden Leitungen (Gleichung 14);

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 der Mündung (siehe EN 13384-1, 5.8);

mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1, 5.8).

Phase 2 Berechne die Werte für den Unterdruck jeweils an jedem Knotenpunkt, ausgehend von der Mündung der Abgasleitung ins Freie bis zurück zu dem Knotenpunkt, der davon am weitesten entfernt ist:

— erforderlicher Unterdruck an der Abgaseinführung in die Abgasleitung (Gleichung 3);

— Ruhedruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasleitung (Gleichung 31);

— Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasleitung (Gleichung 32);

— Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasleitung (Gleichung 2).

Die oben beschriebenen Iterationen (Phase 1 und Phase 2) werden unter Betriebsbedingungen (d. h. Nennwärmeleistung, kleinste Leistung und Wärmeerzeuger abgeschaltet) so lange 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 der Einhaltung des Abgasmassenstromes, die Einhaltung der Druck- und Temperaturbedingungen wie folgt ausgeführt werden:

Ist die Druckbedingung nicht erfüllt, erfolgt eine erneute Vorschätzung von m_w , die auf der festgestellten Differenz von $P_{Z,j}$ und $P_{Ze,j}$ beruht und mit der eine neue Iteration durchgeführt wird.

6 Abgaskennlinien für die Wärmeerzeuger

Die für die Berechnung der Temperatur- und Druckwerte relevanten Daten für die Wärmeerzeuger müssen vorhanden sein. Dazu gehören die Angaben:

- des notwendigen Förderdruckes des Wärmeerzeugers ($P_{W,j}$);
- der vom Hersteller des Wärmeerzeugers deklarierten Abgastemperatur ($t_{W,j}$).

Beide Werte müssen in Abhängigkeit vom Abgasmassenstrom bei verschiedenen Betriebsbedingungen der Wärmeerzeuger (in Betrieb, außer Betrieb) angegeben werden. Der errechnete Förderdruck $P_{Wc,j}$ des Wärmeerzeugers ist für beide Betriebsbedingungen in Form eines Polynoms 4. Grades (Gleichung 10) anzugeben.

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

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

Dabei ist

b_0, b_1, b_2, b_3, b_4	Faktoren der Polynom-Gleichung für den errechneten Förderdruck des Wärmeerzeugers j	
y_0, y_1, y_2	Faktoren der Exponentialgleichung für den Wärmeerzeuger j	
$\dot{m}_{Wc,j}$	errechneter Abgasmassenstrom für den Wärmeerzeuger j	in kg/s
$\dot{m}_{W,j}$	deklarierte Abgasmassenstrom für den Wärmeerzeuger j	in kg/s
$P_{Wc,j}$	errechneter Förderdruck des Wärmeerzeugers	in Pa
$t_{Wc,j}$	errechnete Abgastemperatur des Wärmeerzeugers	in °C

Die Zahlenwerte der Faktoren b und y sind für beide Betriebszustände getrennt anzugeben.

Liegen diese Angaben nicht vor, kann für Wärmeerzeuger, die den im Anhang A definierten Wärmeerzeugerkategorien zugeordnet werden können, mit den dort angegebenen Abgaskennlinien gerechnet werden.

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

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

- Für Wärmeerzeuger für flüssige und gasförmige Brennstoffe und Wärmeerzeuger für feste Brennstoffe mit automatischer Nachspeisung

$$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{Wc},j} = \frac{1}{\left(\frac{\dot{m}_{\text{Wc},j}}{\dot{m}_{\text{W},j}}\right) \frac{1}{\sigma(\text{CO}_2)_{\text{W},j}} + \left[\left(\frac{\dot{m}_{\text{Wc},j}}{\dot{m}_{\text{W},j}}\right) - 1\right] \frac{f_{\text{m}2}}{f_{\text{m}1}}} \quad \text{in Vol.-%} \quad (12)$$

- In anderen Fällen

$$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{Wc},j} = \sigma(\text{CO}_2)_{\text{W},j} \quad \text{in Vol.-%}$$

Dabei ist

$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{W},j}$ deklarierter CO_2 -Gehalt des Abgases des Wärmeerzeugers j in Vol.-%

$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{Wc},j}$ errechneter CO_2 -Gehalt des Abgases des Wärmeerzeugers j in Vol.-%

$f_{\text{m}1}, f_{\text{m}2}$ Koeffizienten nach EN 13384-1

$\dot{m}_{\text{Wc},j}$ errechneter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers j in kg/s

$\dot{m}_{\text{W},j}$ deklarierter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers j in kg/s

7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück

Der mittlere Rauigkeitsbeiwert (r_f bzw. $r_{v,j}$) und der Wärmedurchlasswiderstand ($\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{,j}$ bzw. $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_{\text{v},j}$) müssen für jedes Verbindungsstück und für jeden Abschnitt der Abgasanlage bestimmt werden (siehe EN 13384-1, 5.6.2).

8 Grundwerte für die Berechnung

Die Grundwerte für die Berechnung sind für jeden Abschnitt der Abgasanlage zu ermitteln, soweit im Folgenden nichts anderes angegeben ist.

8.1 Lufttemperaturen

8.1.1 Außenlufttemperatur (T_L)

Zur Berechnung der Außenlufttemperatur (T_L) siehe EN 13384-1, 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, 5.7.1.3.

8.2 Außenluftdruck (p_L)

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

8.3 Gaskonstante

8.3.1 Gaskonstante der Luft (R_L)

Zur Berechnung der Gaskonstante der Luft (R_L) siehe EN 13384-1, 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, 5.7.3.2 und die Mischungsgleichung nach Gleichung 21.

8.4 Dichte der Außenluft (ρ_L)

Zur Berechnung der Dichte der Außenluft (ρ_L) siehe EN 13384-1, 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, 5.7.5 und Mischungsgleichungen nach den Gleichungen 20, 21, 22.

8.6 Wasserdampfgehalt ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_{i,j}$) und Taupunkttemperatur (T_{sp})

Zur Berechnung des Wasserdampfgehaltes ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_{i,j}$) und der Taupunkttemperatur (T_{sp}) siehe EN 13384-1, 5.7.6 und Mischungsgleichung nach Gleichung 18.

8.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrschung (S_H)

Der Wert gilt einheitlich für alle Abschnitte der Abgasanlage.

Zur Überprüfung der Bedingungen für den Massenstrom und die Druckbedingung gilt S_H für alle Abschnitte der Abgasanlage. Zur Überprüfung der Temperaturbedingung wird S_H nicht benötigt.

8.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl (S_E)

Grundsätzlich ist $S_E = 1,5$ anzusetzen, außer für Wärmeerzeugungs- und Abgasanlagen und Einrichtungen von Abgasanlagen mit ständiger Beaufsichtigung.

Für Luft-Abgas-Systeme muss eine strömungstechnische Sicherheitszahl $S_{EB} = 1,2$ eingesetzt werden.

8.9 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient

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

9 Ermittlung der Temperaturen

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

- die errechnete Abgastemperatur des Wärmeerzeugers ($T_{wc,j}$) unter Berücksichtigung der Kennlinien für den Wärmeerzeuger (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 ($T_{o,j}$);
- die Innenwandtemperaturen am Ende eines jeden Abschnittes einer Abgasanlage ($T_{iob,j}$).

Die entsprechenden Gleichungen zur Berechnung der Temperaturen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der Massenstrom und der CO₂-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 $K_{V,j}$	$K_{V,j} = \frac{U_{V,j} \cdot k_{V,j} \cdot L_{V,j}}{m_{V,j} \cdot c_{pV,j}}$	—
Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsstückes $k_{V,j}$ (Überprüf. d. Massenstromes und der Druckbedingung)	$k_{V,j} = \left[\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + S_H \cdot \left[\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_{V,j} + \left(\frac{D_{hV,j}}{D_{hVa,j} \cdot \alpha_{aV,j}} \right) \right] \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsstückes $k_{V,j}$ (Überprüf. d. Temperaturbed.)	$k_{V,j} = \left[\frac{1}{\alpha_{iV,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_{V,j} + \left(\frac{D_{hV,j}}{D_{hVa,j} \cdot \alpha_{aV,j}} \right) \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
innerer Wärmeübergangskoeffizient des Verbindungsstückes $\alpha_{iV,j}$	$\alpha_{iV,j} = \max \left(\frac{\lambda_{AV,j} \cdot Nu_{V,j}}{D_{hV,j}}, 4 \right)$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Nusselt-Zahl $Nu_{V,j}$	$Nu_{V,j} = \left[\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right]_{V,j}^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_{V,j}^{0,8} - 100) \cdot Pr_{V,j}^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hV,j}}{L_{V,j}} \right)^{0,67} \right]$	—
Prandtl-Zahl $Pr_{V,j}$	$Pr_{V,j} = \frac{\eta_{AV,j} \cdot c_{pV,j}}{\lambda_{AV,j}}$	—