

	Abgasanlagen Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstätten Deutsche Fassung prEN 13384-2:2001	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 prEN 13384-2 : 2001 Conduit de fumée – Méthode de calcul thermo-aéraulique – Partie 2: Conduit de fumée desservant plus qu'une chaudière; Version allemande prEN 13384-2 : 2001 Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin). Nationales Vorwort Der Entwurf DIN EN 13384-2 wurde im Arbeitsausschuss 1.06 des Normenausschusses Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) beraten und beschlossen. Änderungen Gegenüber DIN V 4705-3:1997-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen: Der vorliegende Entwurf enthält jetzt auch Berechnungsverfahren für Kaskadenschaltungen der Wärmeerzeuger und Luft-Abgas-Systeme (LAS).	Einsprüche bis 2001-07-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN V 4705-3:1997-08 Fortsetzung 55 Seiten prEN

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

Conduit de fumée - Méthode de calcul thermo-aéraulique -
Partie 2: Conduit de fumée desservant plusieurs générateurs
de chaleur

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder 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.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde vom CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

Warnvermerk : Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.



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

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

Inhalt

Vorwort.....	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe.....	4
4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	5
5 Unterdruck Abgasanlagen.....	6
6 Kennlinien für die Wärmeerzeuger	12
7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück	13
8 Grundwerte für die Berechnung	13
9 Ermittlung der Temperaturen	14
10 Berechnung der Mischungsvorgänge	16
11 Dichte und Geschwindigkeiten des Abgases.....	18
12 Unterdruck am Ende des Verbindungsstückes und Unterdruck an der Einmündung in den Abschnitt der Abgasanlage	19
13 Innenwandtemperatur (T_{iob})	23
14 Kaskadenschaltungen.....	23
15 Luft-Abgasanlagen.....	30
Anhang A (normativ) Kennwerte für den Wärmeerzeuger	53
Anhang B (informativ) Erläuterungen	55

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 "Abgasanlagen" erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

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

Diese Norm dient zur Unterstützung der Ausführungsnormen für mehrfachbelegte Abgasanlagen.

Die jeweilige Ausführungsnorm legt Grenzen und sicherheitstechnische Anforderungen in Zusammenhang mit der Planung, der Errichtung, Inbetriebnahme und der Wartung mehrfachbelegter 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 mehrfachbelegten 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 Wärmerzeuger in Kaskadenschaltung verbindet.

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

Dieser Teil der Normreihe 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 Normreihe EN 13384 gilt nicht für:

- Abgasanlagen für offene Feuerstätten, z.B. offene Kamine oder Abgaseinleitungen in die Abgasanlage, die bestimmungsgemäß offen im Raum betrieben werden.
- Abgasanlagen mit Überdruckbrennern oder Naturkesseln. Ventilatorunterstützte Wärmeerzeuger mit Strömungssicherung zwischen dem Ventilator und der Abgasanlage gelten als Naturzugkessel.
- Abgasanlagen mit Mehrfachanschlüssen aus mehr als 5 Geschossen (dies gilt nicht für Luft-Abgas-Systeme).
- 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).

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.

- EN 13384-1 Abgasanlagen - Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren - Teil 1:
Abgasanlagen mit einer Feuerstätte
- EN 1443 Abgasanlagen - Allgemeine Anforderungen
- EN 12391 Abgasanlagen - Ausführungsbestimmungen für Metallschomsteine und Innenrohre

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten zusätzlich zu EN 1443, EN 13384-1 und EN 12391 die folgenden Begriffe.

3.1 Abschnitt einer Abgasanlage

Teil einer Abgasanlage zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einführungen eines Verbindungsstückes oder zwischen der letzten Einföhrung und der Mündung 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

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 welche vom Wärmeerzeuger an das Verbindungsstück in der Zeiteinheit abgegeben wird. 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 berücksichtigten Wärmeleistung.

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

Der Abgasmassenstrom, der abhängig vom ermittelten Unterdruck und den Betriebsbedingungen des Wärmeerzeugers j berechnet wurde.

3.5 Berechnete Abgas-Temperatur ($T_{wc,j}$)

Die Abgastemperatur am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom.

3.6 Errechneter Förderdruck für den Wärmeerzeuger ($P_{wc,j}$)

Der Förderdruck am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers j in Abhängigkeit vom berechneten Abgasmassenstrom.

3.7 Abgasklappe

Eine Vorrichtung um den Abgaweg teilweise oder ganz abzusperren.

3.8 Luft-Abgasanlage

Abgasanlage bei der der Punkt des Lufteintrittes für die Verbrennungsluftleitung neben dem Punkt der Mündung der Verbrennungsprodukte der Abgasanlage ins Freie liegt, wobei Lufteintritt und Abgasaustritt so positioniert sind, dass Windeinflüsse weitgehend 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.

3.12 Überströmöffnung

Öffnung oder Leitung, die die Zuluftleitung direkt mit der Abgasleitung an der Sohle 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 Normreihe aufgeführt ist. Die Indices, 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 dem niedrigsten und entferntest gelegenen Wärmeerzeugersanschluß beginnen. Bei Anschluß von mehr als einer Kaskadenschaltung sollte das Benummerungsschema der Indizes für die Berechnungsformeln 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. $H_{1,1}$ ist die wirksame Höhe eines Abschnittes einer Abgasanlage zwischen der Einmündung des Verbindungsstückes des untersten Wärmeerzeugers und der Einmündung des Verbindungsstückes des nächsten Wärmeerzeugers).

Table 1 - Formelzeichen, Benennungen, Einheiten (fortgesetzt auf Seite 6)

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
A	Fläche des lichten Querschnittes eines Abschnittes einer Abgasanlage	m^2
D	Durchmesser eines Abschnittes einer Abgasanlage	m
D_h	hydraulischer Durchmesser eines Abschnittes einer Abgasanlage	m
H	wirksame Höhe eines Abschnittes einer Abgasanlage	m
H_V	wirksame Höhe des Abschnittes des Verbindungsstückes	m
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom	kg/s
$\dot{m}_W$	deklariert Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers	kg/s
$\dot{m}_{Wc}$	errechneter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers	kg/s
$\dot{m}_V$	Abgasmassenstrom im Verbindungsstück	kg/s
Q_{min}	kleinste Wärmeleistung	kW
Q_N	Nennwärmeleistung	kW
N	Anzahl der an die Abgasanlage angeschlossenen Wärmeerzeuger	-
P_B	Förderdruck der Zuluft für einen Abgasmassenstrom	Pa
P_{Bc}	errechneter Förderdruck der Zuluft für den Wärmeerzeuger	Pa
P_H	Ruhedruck in einem Abschnitt der Abgasanlage	Pa
P_L	Winddruck	Pa
p_L	Aussenluftdruck	Pa
P_R	Widerstandsdruck in einem Abschnitt einer Abgasanlage	Pa
P_{Wc}	errechneter Förderdruck eines Wärmeerzeugers	Pa
P_W	notwendiger Förderdruck eines Wärmeerzeugers	Pa
P_Z	Unterdruck an der Abgaseinführung in die Abgasanlage	Pa
P_{RV}	Widerstandsdruck des Verbindungsstückes	Pa
T_W	deklarierte Abgastemperatur des Wärmeerzeugers	K
T_{Wc}	errechnete Abgastemperatur des Wärmeerzeugers	K
U	Innerer Umfang des Abschnittes einer Abgasanlage	m
$\frac{1}{\Lambda}$	Wärmedurchlasswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
ζ	Widerstandszahl für Bögen und Abzweige ??	-
r	Mittlere Rauigkeit der Innenwand	m
L	Länge des Abschnittes einer Abgasanlage	m
R	Gaskonstante des Abgases	J/(kg·K)
R_L	Gaskonstante der Luft	J/(kg·K)
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl	-
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	-

Formelzeichen	Benennungen	Einheiten
T_e	Abgastemperatur am Eintritt in den Abschnitt einer Abgasanlage	K
T_g	Grenztemperatur der Wandung	K
T_L	Aussenlufttemperatur	K
T_m	über die Länge eines Abschnittes einer Abgasanlage gemittelte Abgastemperatur	K
T_o	Abgastemperatur an der Mündung der Abgasanlage	K
T_u	Umgebungslufttemperatur	K
K	Abkühlzahl eines Abschnittes einer Abgasanlage	-
K_V	Abkühlzahl des Verbindungsstückes	-
k	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
α_i	innerer Wärmeübergangskoeffizient der Abgasleitung	W/(m ² ·K)
Nu	Nusselt - Zahl	-
Pr	Prandtl - Zahl	-
Re	Reynolds - Zahl	-
c_p	spezifische isobare Wärmekapazität des Abgases	J/(kg·K)
λ_A	Wärmeleitfähigkeit des Abgases	W/(m ² ·K)
g	Erddanziehung = 9,81	m/s ²
γ	Winkel zwischen der Strömungsrichtung im Verbindungsstück und dem Abschnitt der Abgasanlage	deg
η_A	dynamische Viskosität des Abgases	N·s/m ²
ρ_m	mittlere Dichte des Abgases im Abschnitt einer Abgasanlage	kg/m ³
w_m	mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Abschnitt einer Abgasanlage	m/s
k_{obm}	Wärmedurchgangskoeffizient am oberen Ende eines Abschnittes einer Abgasanlage	W/(m ² ·K)
T_{iob}	Innenwandtemperatur am oberen Ende eines Abschnittes einer Abgasanlage	K

5 Unterdruck Abgasanlagen

Ist die Abgasanlage mit einer Nebenluftvorrichtung ausgestattet, so wird sie wie eine Kaskadenschaltung behandelt.

5.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

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. 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)

5.2 Druckbedingung

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

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

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

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

Dabei ist:

$P_{Z,j}$	Unterdruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt j der Abgasleitung	in Pa
$P_{H,k}$	Ruhedruck im Abschnitt k der Abgasanlage	in Pa
$P_{R,k}$	Widerstandsdruck im Abschnitt k der Abgasanlage	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	

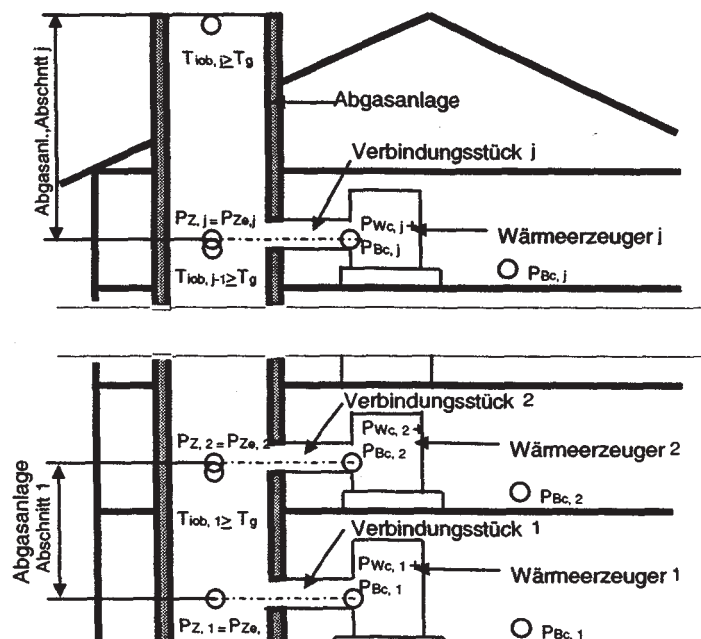


Bild 1: Beispiel einer Mehrfachbelegung und Benummerung der Druck- und Temperaturwerte in einer Abgasanlage

5.3 Bedingung 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:

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

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

5.4 Druckbedingung für den Aufstellraum der Feuerstätte

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:

$P_{Z,j}$	Unterdruck am Abgaseintritt in den Abschnitt j der Abgasanlage	in Pa
$P_{Bc,j}$	errechneter Förderdruck für die Zuluft für den Wärmeerzeuger j	in Pa

5.5 Temperaturbedingung

die Gleichung (5) 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.

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

dabei ist:

$T_{iob,j}$	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 $T_{sp,j}$ des Abgases (siehe 8.6). $T_{g,j} = T_{sp,j}$

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

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 quasi stationären Bedingungen.

An allen Verbindungspunkten verschiedener Leitungen (am Ende eines Verbindungsstückes, am Anfang und Ende eines Abschnittes der Abgasanlage), an allen Knotenpunkten genannt, gelten die folgenden Formeln:

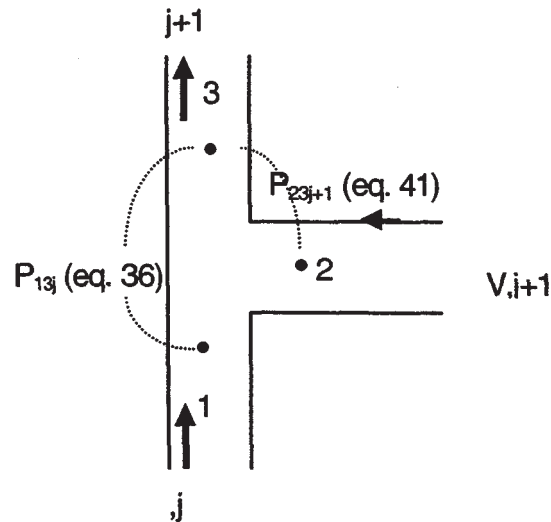


Bild 2: Bezeichnungs- und Benummerungsbeispiel für Knoten (siehe Gleichung 8 und 9)

- 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 am Ende des Abschnittes j-1	in K
$T_{oV,j-1}$	Abgastemperatur am Ende des Verbindungsstücks 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 dieses Abschnittes der Abgasanlage und allen nachfolgenden Abschnitten entsprechend Gleichung 26.

Anmerkung:

Bei bestimmten gebläseunterstützten Wärmerzeugern 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.

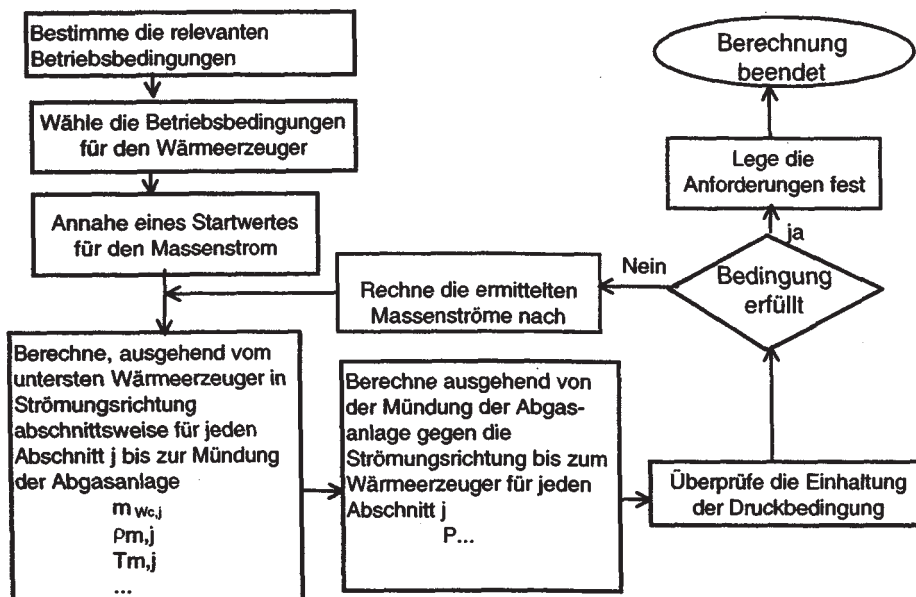


Bild 3: Flussdiagramm für die Berechnung

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

Der Wert $\dot{m}_{wc,j}$, den man aus der vorhergehenden Iteration erhält kann entweder direkt verwendet werden, aber um den Aufwand der durchzuführenden Iterationen zu reduzieren wird empfohlen die folgende Gleichung zu verwenden:

$$\dot{m}_{wc,j} = \omega \cdot \dot{m}_{wc,j0} + (1 - \omega) \cdot \dot{m}_{wc,j}^* \quad \text{in kg/s} \quad (10)$$

Dabei ist:

$\dot{m}_{wc,j}^*$ der Wert, der durch Formel 12 ermittelt werden kann in der ein neuer Wert für $P_{wc,j}^*$, der nach der folgenden Formel (9) ermittelt wird, eingesetzt wird:

$$P_{wc,j}^* = P_{zj} - P_{Vj} - P_{Bc,j} \quad \text{in Pa} \quad (11)$$

$\dot{m}_{wc,j0}$ der Wert von $\dot{m}_{wc,j}$, der in der vorangegangenen Iteration verwendet wurde;

ω ein Koeffizient mit Werten zwischen 0 und 1.

- in jedem Verbindungsstück und in jeder Zuluftleitung
 - errechneter Massenstrom (Gleichung 16);
 - mittlere Dichte des Abgases/ der Luft (Gleichung 31);
 - mittlere Geschwindigkeit des Abgases/ der Luft (Gleichung 32);
 - Abgas/Lufttemperatur am Ende (siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.8);
 - mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.8).
- in jedem Abschnitt der Abgas-/Luftleitung
 - errechneter Massenstrom vor/nach Beimischung durch die entsprechenden Leitungen (Gleichung 6);

Temperatur des Abgases/der Luft nach Beimischung (Gleichung 7)
mittlere Dichte des Abgases/der Luft (Gleichung 29);
mittlere Geschwindigkeit des Abgases/ der Luft (Gleichung 30);
Abgas-/Lufttemperatur am Ende (siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.8);
mittlere Abgas-/Lufttemperatur (siehe EN 13384-1, Abschnitt 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:

- Ruhedruck an der Abgaseinführung in den Abschnitt der Abgasanlage (Gleichung 34);
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasanlage (Gleichung 35);
- Unterdruck am Eintritt in den Abschnitt der Abgasanlage (Gleichung 33);
- Ruhedruck an der Nebenluftvorrichtung, wenn vorhanden (Gleichung 34);
- Widerstandsdruck im Abschnitt der Abgasanlage an der Nebenluftvorrichtung, wenn vorhanden (Gleichung 35);
- Unterdruck am Eintritt in den Abschnitt der Abgasanlage an der Nebenluftvorrichtung, wenn vorhanden, (Gleichung 33);

Die oben beschriebenen Iterationen (Phase 1 und Phase 2) werden unter Betriebsbedingungen (d.h. Nennwärmeleistung, kleinste Leistung und Wärmeerzeuger 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 die Einhaltung der Bedingungen für den Abgasmassenstrom, den Druck- und die Temperatur wie folgt nachweisen. Ist die Druckbedingung nicht erfüllt erfolgt eine erneute Vorschätzung von m_w , die auf der festgestellten Differenz von $P_{z,j}$ und $P_{z,e,j}$ beruht und mit der eine neue Iteration durchgeführt wird.

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 Wärmeleistung
- 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 unter ungünstigsten Bedingungen in Betrieb sind, durchgeführt werden.

Die Validierung der Bedingung für den Abgasmassenstrom und die Überprüfung der Druckbedingung braucht 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 die mit festen Brennstoffen beheizt werden ohne Gebläse und Wärmeerzeuger mit geregelter Zuluftzufuhr.

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

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

Die Temperaturbedingung muss bei folgenden relevanten Betriebsbedingungen mit Umgebungsluft- und Aussenlufttemperaturen nach EN 13384-1 eingehalten werden:

- bei Wärmeerzeugern für feste Brennstoffe mit Gebläse und Wärmeerzeugern mit geregelter Zuluftzufuhr jeweils bei Nennwärmeleistung,

- bei Wärmeerzeugern mit Strömungssicherung welche allein zur häuslichen Warmwasserbereitung dienen, 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.),
- Wärmeerzeuger, mit stationärem Wärmeleistungsbereich werden bei dieser (Nenn-)Wärmeleistung betrieben.
- alle anderen Wärmeerzeuger werden mit kleinster Wärmeleistung betrieben.

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.

Die Überprüfung der Temperaturbedingung im Falle eines Austausches eines Wärmeerzeugers, ist im Anhang B behandelt.

6 Kennlinien für die Wärmeerzeuger

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

- 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 12) anzugeben.

$$P_{Wc,j} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right) + b_2 \cdot \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^4 \text{ in Pa} \quad (12)$$

$$t_{Wc,j} = y_0 + y_1 \left(\frac{\dot{m}_{Wc,j}}{\dot{m}_{W,j}} \right)^{y_2} \text{ in } ^\circ\text{C} \quad (13)$$

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 j	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 müssen 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 $\sigma(\text{CO}_2)_{Wtat,j}$ 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 Brennstoffzuführung

$$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{Wc},j} = \frac{1}{\left(\frac{\dot{m}_{\text{Wc},j}}{\dot{m}_{\text{W},j}}\right) \frac{1}{\sigma(\text{CO}_2)_{\text{W},j}} + \left[\left(\frac{\dot{m}_{\text{Wc},j}}{\dot{m}_{\text{W},j}}\right) - 1\right] \frac{f_{\text{m}2}}{f_{\text{m}1}}} \quad \text{in Vol.-%} \quad (14)$$

- In anderen Fällen

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

Dabei ist:

$\sigma(\text{CO}_2)_{\text{W},j}$	deklarerter 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
$\dot{m}_{\text{W},j}$	deklarerter Abgasmassenstrom des Wärmeerzeugers j	in kg/s

7 Bauartkennwerte für die Abgasanlage und das Verbindungsstück

Der mittlere Rauigkeitsbeiwert (η_j bzw. $r_{\text{V},j}$) und der Wärmedurchlasswiderstand ($\left(\frac{1}{\lambda}\right)_j$ bzw. $\left(\frac{1}{\lambda}\right)_{\text{V},j}$) muss für jedes Verbindungsstück und für jeden Abschnitt der Abgasanlage bestimmt werden (siehe EN 13384-1, Abschnitt 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 anderes angegeben ist.

8.1 Lufttemperaturen

8.1.1 Aussenlufttemperatur (T_{L})

Zur Berechnung der Aussenlufttemperatur (T_{L}) siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.7.1.1; 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, Abschnitt 5.7.1.2.

8.2 Aussenluftdruck (p_{L})

Zur Berechnung des Aussenluftdruckes (p_{L}) siehe EN 13384-1, Abschnitt 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, Abschnitt 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, Abschnitt 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, Abschnitt 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, Abschnitt 5.7.5. und die Mischungsgleichungen nach den Gleichungen 22, 23, 24.

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

Zur Berechnung des Wasserdampfgehaltes ($\sigma(\text{H}_2\text{O})_i$) und der Taupunkttemperatur (T_{sp}) siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.7.6 und die Mischungsgleichung nach Gleichung 20.

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 der Druckbedingung gilt $S_H = 0,5$ 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 mit ständiger Beaufsichtigung und für raumluftunabhängige Anlagen ist $S_E = 1,2$ anzusetzen.

ANMERKUNG:

Achtung bei gleichzeitigem Betrieb.

8.9 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient

Zur Berechnung des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten siehe EN 13384-1, Abschnitt 5.8.2.2.

9 Ermittlung der Temperaturen

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

- die errechnete Abgastemperatur des Wärmeerzeugers ($T_{wc,i}$) unter Berücksichtigung der Kennlinien für den Wärmeerzeuger (Gleichung 13),
- die mittleren Abgastemperaturen in den Verbindungsstücken ($T_{mv,i}$),
- die Abgastemperaturen am Ende der Verbindungsstücke ($T_{ov,i}$),
- die Mischungstemperaturen am Eintritt in die Abschnitte einer Abgasanlage ($T_{e,i}$, Gleichung 7),
- die mittleren Temperaturen in den Abschnitten der Abgasanlage ($T_{m,i}$),
- die Abgastemperaturen am Ende eines jeden Abschnittes einer Abgasanlage ($T_{o,i}$) und
- die Innenwandtemperaturen am Ende eines jeden Abschnittes einer Abgasanlage ($T_{io,i}$).

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 16 und 19 berechnet.

Table 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 des Verbindungsstückes $K_{v,j}$	$K_{v,j} = \frac{U_{v,j} \cdot k_{v,j} \cdot L_{v,j}}{m_{v,j} \cdot c_{pv,j}}$	-
Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsstückes $k_{v,j}$ (Überprüfung des 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 $k_{v,j}$ (Überprüfung der Temperaturbedingung)	$k_{v,j} = \left[\frac{1}{\alpha_{iv,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_{v,j} + \left(\frac{D_{hv,j}}{D_{hva,j} \cdot \alpha_{av,j}} \right) \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Innere 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 $Nu_{v,j}$	$Nu_{v,j} = \left[\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right]_{v,j}^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_{v,j}^{0,8} - 100) \cdot Pr_{v,j}^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hv,j}}{L_{v,j}} \right)^{0,67} \right]$	-
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	$K_j = \frac{U_j \cdot k_j \cdot L_j}{m_j \cdot c_{pj}}$	-
Wärmedurchgangskoeffizient k_j (Überprüfung des Massenstromes und der Druckbedingung)	$k_j = \left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + S_H \cdot \left[\left(\frac{1}{\Lambda} \right)_j + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j}} \right) \right] \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
Wärmedurchgangskoeffizient k_j (Überprüfung der Temperaturbedingung)	$k_j = \left[\frac{1}{\alpha_{i,j}} + \left(\frac{1}{\Lambda} \right)_j + \left(\frac{D_{hi}}{D_{ha} \cdot \alpha_{a,j}} \right) \right]^{-1}$	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
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	$Nu_j = \left[\frac{\psi}{\psi_{smooth}} \right]_{v,j}^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_j^{0,8} - 100) \cdot Pr_j^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_{hv,j}}{L_j} \right)^{0,67} \right]$	-
Prandtlzahl Pr_j	$Pr_j = \frac{\eta_{a,j} \cdot c_{pj}}{\lambda_{a,j}}$	-
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 15 and 16 berechnet:

$$\dot{m}_j = \dot{m}_{j-1} + \dot{m}_{V,j} \quad \text{in kg/s} \quad (15)$$

$$\dot{m}_{V,j} = \dot{m}_{Wc,j} \quad \text{in kg/s} \quad (16)$$

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 17 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.

$$T_{e,j} = \frac{\dot{m}_{j-1} c_{p,j-1} T_{o,j-1} + \dot{m}_{V,j} c_{pV,j} T_{oV,j}}{\dot{m}_{j-1} c_{p,j-1} + \dot{m}_{V,j} c_{pV,j}} \quad \text{in K} \quad (17)$$

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 18 berechnet:

$$\sigma(\text{CO}_2)_j = \frac{\dot{m}_{j-1} R_{j-1} [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1}] \sigma(\text{CO}_2)_{j-1} + \dot{m}_{V,j} R_{V,j} [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}] \sigma(\text{CO}_2)_{V,j}}{\dot{m}_{j-1} R_{j-1} [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1}] + \dot{m}_{V,j} R_{V,j} [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}]} \quad \text{in Vol. \%} \quad (18)$$

Der CO₂-Gehalt des Abgases im Verbindungsstück wird nach Gleichung 19 berechnet:

$$\sigma(\text{CO}_2)_{V,j} = \sigma(\text{CO}_2)_{Wc,j} \quad \text{in Vol. \%} \quad (19)$$

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 20 berechnet:

$$\sigma(\text{H}_2\text{O})_j = \frac{\dot{m}_{j-1} R_{j-1} \sigma(\text{H}_2\text{O})_{j-1} + \dot{m}_{V,j} R_{V,j} \sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}}{\dot{m}_{j-1} R_{j-1} + \dot{m}_{V,j} R_{V,j}} \quad \text{in Vol. \%} \quad (20)$$

$\sigma(\text{H}_2\text{O})_{V,j}$ erhält man für alle Brennstoffe für den Wärmeerzeuger j aus Tabelle B.1 von EN 13384-1.

10.5 Gaskonstante des Abgases (R_j)

Die Gaskonstante R_j im Abschnitt j der Abgasanlage wird nach Gleichung 21 berechnet:

$$R_j = \frac{\dot{m}_{j-1} R_{j-1} + \dot{m}_{V,j} R_{V,j}}{\dot{m}_{j-1} + \dot{m}_{V,j}} \quad \text{in J/(kg·K)} \quad (21)$$

$R_{V,j}$ erhält man für alle Brennstoffe für den Wärmeerzeuger j aus Tabelle B.1 von EN 13384-1.