

	<p style="text-align: center;">Abgasanlagen</p> <p style="text-align: center;">Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren</p> <p style="text-align: center;">Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte Deutsche Fassung prEN 13384-1 : 1998</p>	<p style="text-align: center;">DIN</p> <p style="text-align: center;">EN 13384-1</p>
<p>ICS 91.060.40</p> <p>Chimneys – Thermal and fluid dynamic calculation methods – Part 1: Chimneys serving one appliance; German version prEN 13384-1 : 1998</p> <p>Conduits de fumée – Méthodes de calcul thermo-aéraulique – Partie 1: Conduits de fumée ne desservant qu'un seul appareil; Version allemande prEN 13384-1 : 1998</p>	<p style="text-align: right;">Einsprüche bis 28. Feb 1999</p> <p style="text-align: right;">Vorgesehen als teilweiser Ersatz für DIN 4705-1 : 1993-10</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>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).</p> <p>Nationales Vorwort</p> <p>Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 "Abgasanlagen" erstellt.</p> <p>Dieser Europäische Norm-Entwurf legt Verfahren für die Berechnung von wärme- und strömungstechnischen Kennwerten von Abgasanlagen fest.</p> <p>Änderungen</p> <p>Gegenüber DIN 4705-1 : 1993-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Das Berechnungsverfahren für Abgasanlagen für Feuerstätten, die mit Überdruck betrieben werden ist nicht enthalten. b) Teilweise Änderungen der Parameter (Randbedingungen) an denen sich das Berechnungsverfahren orientiert. <p style="text-align: right;">Fortsetzung Seite 2 und 79 Seiten prEN</p> <p style="text-align: center;">Normenausschuß Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN</p>	

Nationaler Anhang NA (informativ)

Hinweis für die Einsprecher

Zur Vereinfachung des Verfahrens werden die Einsprecher gebeten, die Stellungnahmen in eine vierspaltige Tabelle gemäß dem in Tabelle NA.1 abgebildeten Schema einzutragen. Die ausgefüllte Tabelle sollte zusätzlich zur Papierform als Datei (WinWord, nicht Exel, nicht Quattro Pro) auf Diskette an den Normenausschuß Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) gesandt werden.

Das o. g. Verfahren soll die übersichtliche Zusammenstellung aller Einsprüche nach Abschnitten geordnet erleichtern.

Tabelle NA.1: Beispiel für die Einsprüche von Mustermann & Söhne

Einsprüche zu E DIN EN 13384-1:1999-01 von Mustermann & Söhne

Abschnitt	r, f ¹⁾	Einspruch	Einsprecher ²⁾
Allgemein	r		Mustermann
Vorwort	r		Mustermann
3.1	r		Mustermann
5.4	f		Mustermann
	f		Mustermann
	r		Mustermann

¹⁾ r = redaktionell; f = fachlich

²⁾ Bitte in jede Zeile den Namen des Einsprechers in sinnvoller Abkürzung eintragen (max. 11 Zeichen).

ICS

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Abgasanlagen

Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren

Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte

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

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

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 Zentralsekretariat 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.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	2
2 Normative Verweisungen	3
3 Definitionen	3
4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	5
5 Unterdruck-Abgasanlagen	8
6 Überdruck-Abgasanlagen	25
Anhang A (informativ) Berechnung zu innerem Wärmeübergangskoeffizienten und Wärmedurchlaßwiderstand	40
Anhang B (informativ) Tabellen und Diagramme	41
Anhang C (informativ) Messung der Rohrreibungszahl ψ von Abgasanlagen und Rohren	74
Anhang D (informativ) Aufsätze von Abgasanlagen	76
Anhang E (informativ) Zugbegrenzer	77

Vorwort

Der vorliegende Europäische Norm-Entwurf wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 166 "Schornsteine" erstellt, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

CEN/TC 166 hat beschlossen, den vorliegenden Europäischen Norm-Entwurf zur öffentlichen Umfrage von CEN in Umlauf zu setzen.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Norm legt Verfahren für die Berechnung von wärme- und strömungstechnischen Kennwerten von Abgasanlagen fest.

Die vorliegende Norm behandelt herkömmliche und feuchteunempfindliche Abgasanlagen mit Unter- oder Überdruck und gilt für Abgasanlagen mit Feuerstätten, deren Brennstoffe bekannte Abgaseigenschaften haben, die für die Berechnung benötigt werden.

Die in der vorliegenden Norm ausführlich behandelten Abgasanlagen sind auf Feuerstätten für folgende Brennstoffe anwendbar:

- Erdgas
- Flüssiggas
- Stadtgas
- Heizöl EL und Schweröl
- Feste mineralische Brennstoffe (extra leicht und leicht)
- Holz.

Die in vorliegender Norm behandelten Abgasanlagen werden hauptsächlich für folgende Feuerstätten eingesetzt:

- Heizkessel und Warmwasserbereitungsanlagen für den Haushalt
- offene Kamine und Raumheizgeräte
- Öfen.

In vorliegendem Teil der Norm werden Abgasanlagen mit einer Einmündung für eine Feuerstätte behandelt. Abgasanlagen mit Mehrfacheinmündungen und einer Einmündung für Mehrfachfeuerstätten werden von Teil 2 der vorliegenden Norm behandelt.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte und 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, wenn sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikationen.

prEN 303-1:12-1994

Heizkessel - Heizkessel mit Gebläsebrennern - Teil 1: Begriffe, allgemeine Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung

prEN 303-2:12-1994

Heizkessel - Heizkessel mit Gebläsebrennern - Teil 2: Spezielle Anforderungen an Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern

EN 304:1993

Heizkessel - Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrenner

prEN 1443:03-1996

Abgasanlagen - Allgemeine Anforderungen

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten zusätzlich zu EN 1443 die folgenden Definitionen.

3.1 Wärmeleistung Q : Wärmemenge, die in der Zeiteinheit an den Wärmetauscher übertragen wird.

3.1.1 Nennwärmeleistung Q_N : Vom Hersteller für bestimmte Brennstoffe angegebene Dauerleistung der Feuerstätte (höchste in der Zeiteinheit an den Wärmeträger nutzbar abgegebene Wärmemenge).

3.1.2 Wärmeleistungsbereich: Vom Hersteller festgelegter Leistungsbereich unterhalb der Nennwärmeleistung, in dem der Wärmeerzeuger eingesetzt werden kann.

3.2 Feuerungs-Wärmeleistung Q_F : Wärmemenge in der Zeiteinheit, die der Feuerung des Wärmeerzeugers (Feuerung der Feuerstätte) mit dem Brennstoff zugeführt wird, wobei der Heizwert H_u zugrunde gelegt wird.

3.3 Wirkungsgrad der Feuerstätte η_w : Verhältnis der Wärmeleistung Q des Wärmeerzeugers zur Feuerungs-Wärmeleistung Q_F , die mit dem Brennstoff zugeführt wird.

3.4 Abgasmassenstrom m : Die von der Feuerstätte durch das Verbindungsstück in der Zeiteinheit abgeführte Masse der Abgase.

3.5 wirksame Höhe der Abgasanlage H : Höhenunterschied zwischen der Achse der Abgaseinmündung in die Abgasanlage und der Ausmündung der Abgasanlage.

3.6 wirksame Höhe des Verbindungsstückes H_v : Höhenunterschied zwischen der Achse des Abgasstutzens der Feuerstätte und der Achse der Abgasmündung in die Abgasanlage.

Bei offenen Kaminen ist H_v der Höhenunterschied zwischen der Oberkante der Feuerraumöffnung und der Achse der Abgaseinmündung in die Abgasanlage.

3.7 Ruhedruck P_H : Der sich aus den unterschiedlichen Gewichten ergebende Druckunterschied zwischen der Luftsäule im Freien und der Abgassäule in der Abgasanlage. Die Höhe der Säule ist die wirksame Höhe.

3.8 Widerstandsdruck in der Abgasanlage P_R : Zur Deckung der Strömungswiderstände des Abgasmassenstromes beim Transport der Abgase in der Abgasanlage erforderlicher Druck.

3.9 Winddruck P_L : Der an der Abgasanlage infolge Windes entstehende Druck.

3.10 Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_z : Druckunterschied zwischen dem statischen Druck der Luft im Freien in Höhe der Achse der Abgaseinmündung in die Abgasanlage und dem statischen Druck im Abgas in gleicher Höhe.

3.11 Notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte P_w : Druckunterschied zwischen dem statischen Druck der Luft im Aufstellungsraum der Feuerstätte und dem statischen Druck des Abgases im Abgasstutzen des Wärmeerzeugers, der für den ordnungsgemäßen Betrieb der Feuerstätte erforderlich ist.

3.12 notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück P_{fv} : Statischer Druckunterschied zwischen der Achse der Einmündung des Verbindungsstückes und der Achse des Abgasstutzens infolge Ruhedruckes und Widerstandsdruckes.

3.13 notwendiger Förderdruck für die Zuluft P_g : Druckunterschied zwischen dem statischen Druck der Luft im Freien und dem statischen Druck der Luft im Aufstellungsraum der Feuerstätte in gleicher Höhe.

3.14 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_{zo} : Summe aus notwendigem Förderdruck für die Feuerstätte, notwendigem Förderdruck für das Verbindungsstück und notwendigem Förderdruck für die Zuluft.

3.15 Überdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_{zo} : Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases in Höhe der Achse der Abgaseinmündung in die Abgasanlage und dem statischen Druck der Luft im Freien in gleicher Höhe.

3.16 zur Verfügung stehender Förderdruck (Überdruck) der Feuerstätte P_{wo} : Maximaler Druckunterschied zwischen dem statischen Druck des Abgases am Abgasstutzen des Wärmeerzeugers und dem statischen Druck der Luft an der Einmündung in die Feuerstätte, der für ihren ordnungsgemäßen Betrieb vorgegeben ist.

3.17 maximal nutzbarer Überdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_{zo} : Unterschied zwischen dem zur Verfügung stehenden Förderdruck der Feuerstätte und dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück sowie dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft.

3.18 Nebenluft: Luft, die dem Abgas nach dem Wärmeerzeuger aus der Umgebung beigemischt wird.

3.19 Strömungssicherung: Bauteil, durch das der Abgasanlage oder dem Verbindungsstück oder der Feuerstätte selbsttätig Luft aus der Umgebung zugeführt wird.

3.20 Strömungssicherung: Eine im Abgasweg der Verbrennungsprodukte der Feuerstätte angeordnete Vorrichtung, die dafür vorgesehen ist, die Güte der Verbrennung in bestimmten Grenzen aufrechtzuerhalten und die Verbrennung unter bestimmten Bedingungen des Aufwärts- und Abwärtssoges stabil zu halten.

3.21 Grenztemperatur der Innenwand T_g : Zulässige Mindesttemperatur der Innenwand an der Mündung der Abgasanlage.

4 Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

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

Formelzeichen	Benennung	Einheit
A	Fläche	m^2
c	spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_p	spezifische Wärmekapazität des Abgases	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
d	Schichtdicke	m
D	Durchmesser	m
D_h	hydraulischer Durchmesser	m
H	wirksame Höhe der Abgasanlage	m
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
K	Abkühlzahl	-
L	Länge	m
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom	kg/s
Nu	Nusselt-Zahl	-
p	statischer Druck	Pa
p_L	Außenluftdruck	Pa
p_B	notwendiger Förderdruck für die Zuluft	Pa
p_E	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand in der Abgasanlage	Pa
p_{FV}	notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück	Pa
p_G	Druckdifferenz durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases in der Abgasanlage	Pa
p_H	Ruhedruck	Pa
p_{HV}	Ruhedruck im Verbindungsstück	Pa
p_L	Winddruck	Pa
p_{NL}	notwendiger Förderdruck für die Strömungssicherung oder die Strömungssicherung	Pa
p_R	Widerstandsdruck in der Abgasanlage	Pa
p_{RV}	Widerstandsdruck im Verbindungsstück	Pa
p_W	notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte	Pa
p_{wo}	zur Verfügung stehender Förderdruck (Überdruck) am Abgasstutzen der Feuerstätte	Pa
p_z	Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage	Pa

(fortgesetzt)

Tabelle (fortgesetzt)

Formel- zeichen	Benennung	Einheit
P_{ze}	notwendiger Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage	Pa
P_{zo}	Überdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage	Pa
P_{zo_e}	maximale Druckdifferenz an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage	Pa
Pr	Prandtl-Zahl	-
Q	Wärmeleistung	kW
Q_F	Feuerungs-Wärmeleistung	kW
Q_N	Nennwärmeleistung	kW
r	mittlere Rauigkeit der Innenwand	m
R	spezifische Gaskonstante des Abgases	J/(kg·K)
R_L	Gaskonstante der Luft	J/(kg·K)
Re	Reynolds-Zahl	-
s	lichte Weite	m
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl	-
S_H	Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung	-
t	Temperatur	°C
T	Temperatur, absolut	K
T_g	Grenztemperatur	K
T_{io}	Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage	K
T_{iob}	Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung	K
T_L	Außenlufttemperatur	K
T_m	mittlere Temperatur des Abgases	K
T_p	Wasserdampftaupunkt	K
T_{sp}	Taupunkt	K
T_u	Umgebungslufttemperatur	K
T_{ub}	Umgebungslufttemperatur des Heizkesselraumes	K
T_{uh}	Umgebungslufttemperatur für beheizte Bereiche	K
T_{uo}	Umgebungslufttemperatur für Außenbereiche	K
T_{uu}	Umgebungslufttemperatur für unbeheizte Bereiche innerhalb des Hauses	K
T_w	Abgastemperatur des Wärmeerzeugers	K
T_{wN}	Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung	K

(fortgesetzt)

Tabelle (abgeschlossen)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
T_{WNmin}	Abgastemperatur bei kleinster möglicher Wärmeleistung	K
U	Umfang	m
w	über einen Querschnitt gemittelte Geschwindigkeit	m/s
w_m	über eine Strecke gemittelte Geschwindigkeit	m/s
y	Formbeiwert	-
z	geodätische Höhe	m
α	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m ² ·K)
β	Verhältnis der Massenströme Verbrennungsluft zu Abgas	-
γ	Winkel bei Richtungsänderungen	°
δ	Wangendicke	m
ζ	Einzelwiderstandszahl durch Krümmer und Querschnittsänderungen	-
η	dynamische Viskosität	Ns/m ²
η_w	Wirkungsgrad der Feuerstätte	-
η_{WN}	Wirkungsgrad der Feuerstätte bei Nennwärmeleistung	-
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
ρ	über einen Querschnitt gemittelte Dichte der Abgase	kg/m ³
ρ_m	über eine Strecke gemittelte Dichte der Abgase	kg/m ³
$\sigma(\text{CO}_2)$	Volumenkonzentration an CO ₂	%
$\sigma(\text{H}_2\text{O})$	Volumenkonzentration an Wasserdampf	%
ψ	Rohrreibungszahl	-
$\left(\frac{1}{\lambda}\right)$	Wärmedurchlaßwiderstand	(m ² ·K)/W

Zusätzlich werden folgende Indizes verwendet:

Index	Benennung	Einheit
a	Außenseite	-
A	Abgas	-
b	Temperaturbeharrung	-
B	Verbrennungsluft	-
e	Eintritt	-
G	Geschwindigkeitsänderung	-
i	Innenseite	-
L	Außenluft	-
m	Mittelwert	-
M	Mischung	-
n	laufender Index	-
N	Nennwert	-
NL	Nebenluft	-
o	Austritt	-
O	Überdruck	-
u	Umgebungsluft	-
V	Verbindungsstück	-
W	Feuerstätte	-

5 Unterdruck-Abgasanlagen

5.1 Grundzüge des Berechnungsverfahrens

Die Berechnung der Innenmaße (Querschnitt) von herkömmlichen oder feuchteunempfindlichen Abgasanlagen beruht auf drei Kriterien.

Das erste Kriterium fordert, daß der Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage größer oder gleich dem notwendigen Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage ist.

Das zweite Kriterium fordert, daß der Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage größer oder gleich dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft ist (siehe 5.2).

Das dritte Kriterium fordert, daß die Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage größer oder gleich der Grenztemperatur ist (siehe 5.3).

5.2 Druckbedingungen

Es sind die folgenden Beziehungen in Pascal nachzuweisen:

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

$$P_z \geq P_B \quad (2)$$

Dabei ist:

- P_B notwendiger Förderdruck für die Zuluft, in Pascal
- P_{FV} notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück, in Pascal
- P_H Ruhedruck, in Pascal
- P_L Winddruck, in Pascal
- P_R Widerstandsdruck in der Abgasanlage, in Pascal
- P_W notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte, in Pascal
- P_Z Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage, in Pascal
- P_{Ze} notwendiger Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage, in Pascal

5.3 Temperaturanforderung

Es ist die folgende Beziehung in Kelvin nachzuweisen:

$$T_{\text{job}} \geq T_g \quad (3)$$

Dabei ist:

- T_{job} Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, in Kelvin
- T_g Grenztemperatur, in Kelvin

Die Grenztemperatur T_g der Innenwand ist bei herkömmlichen Abgasanlagen der Taupunkt T_{sp} des Abgases (siehe 5.7.6).

$$T_g = T_{\text{sp}}$$

Bei feuchteunempfindlichen Abgasanlagen ist $T_g = 273,15$ K. Dies verhindert die Bildung von Eis an der Mündung der Abgasanlage unter feuchten Bedingungen.

5.4 Berechnungsgang

Zur Berechnung der Druck- und Temperaturwerte in den Beziehungen (1), (2) und (3) müssen die Werte für das Abgaswertetripel nach 5.5 für den Wärmeerzeuger ermittelt werden. Für die Berechnung der Abgasanlagen-Kenngrößen müssen die in 5.6 festgelegten Kennwerte für die Abgasanlagenausführung und ihr Verbindungsstück ermittelt werden. In 5.7 bis 5.11 werden die Berechnungen ausführlich behandelt, die erforderlich sind, um die abschließenden wärme- und strömungstechnischen Berechnungen der Abgasanlage durchführen zu können. Die Gleichungen in 5.7 ermöglichen die Berechnung der Grundwerte, die die Voraussetzung für weitere Berechnungen sind.

In 5.5.2 und 5.8 sind die Gleichungen für die Berechnung der maßgebenden Temperaturen zusammengestellt. Die Dichte des Abgases und seine Geschwindigkeit müssen nach 5.9 berechnet werden. In 5.10 sind die Gleichungen zur Berechnung des maßgebenden Unterdruckes und der maßgebenden Druckgrößen angegeben.

Der Nachweis der Druckbedingung (Beziehungen 1 und 2) erfolgt nach dem Verfahren in 5.10 und 5.11 und der der Temperaturbedingung (Beziehung 3) nach dem Verfahren in 5.12.

Der Nachweis der Druck- und Temperaturbedingung muß zweimal durchgeführt werden:

- für die Nennwärmeleistung der Feuerstätte;
- für den kleinsten Wert des vom Hersteller der Feuerstätte angegebenen Wärmeleistungsbereiches.

Sind die Druck- und die Temperaturbedingungen erfüllt (siehe 5.12), braucht die Nebenluft hier nicht berücksichtigt zu werden.

Ist die Temperaturbedingung (Beziehung 3) nicht erfüllt, darf gegebenenfalls durch Berücksichtigung von dem Abgas zugemischter Nebenluft der Nachweis der Temperaturbedingung nach 5.13 geführt werden.

5.5 Abgaswertetripel der Feuerstätte für Nennwärmeleistung

Für die Berechnung von Temperatur- und Druckgrößen ist das maßgebende Abgaswertetripel der Feuerstätte, das aus Abgasmassenstrom, Abgastemperatur und notwendigem Förderdruck für die Feuerstätte besteht, zu ermitteln. Weiterhin sind die Art des Brennstoffes, die Volumenkonzentration an CO_2 des Abgases und die Geometrie des Verbindungsstückes festzulegen.

5.5.1 Abgasmassenstrom

5.5.1.1 Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung der Feuerstätte

Für die Berechnung der Druck- und Temperaturgrößen nach den Beziehungen (1), (2) und (3) ist der Abgasmassenstrom bei Nennwärmeleistung für die Feuerstätte zu ermitteln.

Die Abgasmassenströme und zugehörigen Volumenkonzentrationen an CO_2 , die sich aus den den zulässigen Brennstoffen zugeordneten Wärmeleistungen ergeben, werden üblicherweise vom Hersteller der Feuerstätte angegeben.

Liegen diese Angaben nicht vor, dürfen der Abgasmassenstrom und die Volumenkonzentration an CO_2 aus den Bildern B.1 bis B.12 entnommen oder nach den Gleichungen in Tabelle B.1 oder B.3 bestimmt werden.

ANMERKUNG: Die Bilder stellen den Abgasmassenstrom von Feuerstätten dar, die den Anforderungen von EN 303-1, -2 und/oder EN 304 entsprechen.

Bei Abgasanlagen für den Anschluß einer Wechselbrand-Feuerstätte sollten Berechnung und Bemessung nach Betrachtung aller für den Wärmeerzeuger geeigneten Brennstoffe durchgeführt werden.

Bei Feuerstätten mit einer Strömungssicherung muß der Abgasmassenstrom hinter der Strömungssicherung in Anwendung kommen.

5.5.1.2 Abgasmassenstrom bei der kleinsten zulässigen Wärmeleistung

Ist die Feuerstätte für modulierenden Betrieb ausgelegt, ist eine weitere Überprüfung der Druck- und Temperaturbedingung für den Abgasmassenstrom bei der kleinsten möglichen, zulässigen Wärmeleistung der Feuerstätte vorzunehmen. Dieser Abgasmassenstrom ist vom Hersteller anzugeben.

Wenn der Hersteller diese maßgebenden Daten für den kleinsten Abgasmassenstrom und die kleinste Wärmeleistung nicht angibt, darf ein Drittel des Abgasmassenstromes bei Nennwärmeleistung angenommen werden.

5.5.1.3 Abgasmassenstrom mit Nebenluft

Wird über eine Strömungssicherung oder eine Strömungssicherung Nebenluft zugeführt, ist der Luftstrom nach 5.13.4.2 abhängig von der tatsächlichen Druckdifferenz zwischen dem Aufstellungsraum der Feuerstätte und der Abgasanlage oder dem Verbindungsstück zu berechnen.

5.5.2 Abgastemperatur

5.5.2.1 Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung T_{WN}

Die Abgastemperatur bei Nennwärmeleistung T_{WN} ist vom Hersteller der Feuerstätte anzugeben. Bei Feuerstätten mit Strömungssicherung muß die Abgastemperatur hinter der Strömungssicherung in Anwendung kommen.

Gibt der Hersteller Daten an, die die Abgastemperatur hinter der Strömungssicherung in Abhängigkeit vom Förderdruck ausweisen, sind diese Daten für die Berechnung zu verwenden.

5.5.2.2 Abgastemperatur bei der kleinsten möglichen Wärmeleistung T_{WNmin}

Die niedrigste festgelegte Abgastemperatur T_{WNmin} ist vom Hersteller der Feuerstätte anzugeben. Liegen keine Angaben vor, darf diese Abgastemperatur in $^{\circ}\text{C}$ zu zwei Dritteln des Wertes der Abgastemperatur bei

Nennwärmeleistung angenommen werden.

5.5.3 Notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte P_w

Der notwendige Förderdruck für die Feuerstätte P_w ist vom Hersteller der Feuerstätte anzugeben.

Liegen keine Angaben vor, sind die maßgebenden Werte des notwendigen Förderdruckes für die Feuerstätte aus einschlägigen Normen auszuwählen (z. B. für Heizkessel: EN 303-1). Bei Wärmeerzeugern mit Ventilatorunterstützung beträgt der notwendige Förderdruck $P_w = 0$ Pa.

Liegen keine gesicherten Herstellerangaben für die Strömungssicherung vor, darf für den notwendigen Förderdruck mit 3 Pa für Heizkessel und Kombi-Wasserheizer mit Gasfeuerung und mit 10 Pa für alle anderen mit Strömungssicherung ausgestatteten Wärmeerzeuger mit Gasfeuerung gerechnet werden.

5.6 Kennwerte für die Berechnung

Die Berechnung der maßgebenden Druck- und Temperaturwerte erfordert zunächst die Bestimmung der Rauigkeit der Innenwand und des Wärmedurchlaßwiderstandes des Verbindungsstückes und der Abgasanlage.

5.6.1 Rauigkeit r

Die mittlere Rauigkeit der Innenschale ist vom Produkthersteller anzugeben. Die mittleren Rauigkeiten von Innenschalen aus üblichen Baustoffen sind in Tabelle B.4 zusammengestellt. Ein Verfahren zur Bestimmung der Rauigkeit ist in Anhang C angegeben.

5.6.2 Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$

Der Wärmedurchlaßwiderstand einer System-Abgasanlage oder der Bauteile einer Montage-Abgasanlage ist vom Produkthersteller anzugeben oder durch Messungen zu bestimmen.

Für mehrschalige Montage-Abgasanlagen darf der Wärmedurchlaßwiderstand nach Gleichung (4) bestimmt werden.

Wenn die Werte für einzelne Bauteile nicht bekannt sind, darf der Wärmedurchlaßwiderstand in Quadratmeter Kelvin pro Watt nach Anhang A.2 ermittelt werden.

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = D_h \cdot \sum_n \left[\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n \cdot \frac{1}{D_{h,n}} \right] \quad (4)$$

Dabei ist:

D_h	innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
$D_{h,n}$	hydraulischer Durchmesser der Innenseite jeder Schicht, in Meter
$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_n$	Wärmedurchlaßwiderstand einer Rohrschale, bezogen auf deren innere Mantelfläche, in Quadratmeter Kelvin pro Watt

Der Wärmedurchlaßwiderstand von ruhenden Luftschichten ist in Tabelle B.6 angegeben.

5.7 Grundwerte für die Berechnung

5.7.1 Lufttemperaturen

Bei Abgasanlagen, die durch beheizte Bereiche hindurchführen, muß zwischen der Außenlufttemperatur und den Umgebungslufttemperaturen unterschieden werden.

5.7.1.1 Außenlufttemperatur T_L

Als Außenlufttemperatur T_L ist die Maximaltemperatur der Außenluft anzusetzen, bei der die Abgasanlage verwendet werden soll.

Die Außenlufttemperatur T_L für Heizungsanlagen wird gewöhnlich mit 288,15 K ($t_L = 15\text{ °C}$) angesetzt. Es dürfen andere Werte für T_L verwendet werden, die auf national anerkannten Werten beruhen.

5.7.1.2 Umgebungslufttemperatur T_u

Die Prüfung, daß die Druckbedingung erfüllt ist, ist mit einer Umgebungslufttemperatur $T_u = T_L$ durchzuführen.

Die Prüfung, daß die Temperaturbedingung erfüllt ist, ist mit den folgenden Werten der Umgebungslufttemperatur T_u durchzuführen:

$T_{ub} = 288,15\text{ K}$ ($t_{ub} = 15\text{ °C}$) für den Aufstellungsraum des Heizkessels
 $T_{uh} = 293,15\text{ K}$ ($t_{uh} = 20\text{ °C}$) für beheizte Bereiche
 $T_{uo} = 273,15\text{ K}$ ($t_{uo} = 0\text{ °C}$) für Außenbereiche bei herkömmlichen Abgasanlagen
 $T_{uo} = 258,15\text{ K}$ ($t_{uo} = -15\text{ °C}$) für Außenbereiche bei feuchteunempfindlichen Abgasanlagen
 $T_{uw} = 273,15\text{ K}$ ($t_{uw} = 0\text{ °C}$) für unbeheizte Bereiche innerhalb des Hauses.

Es dürfen andere Werte für T_{uo} verwendet werden, die auf national anerkannten Werten beruhen.

Abgasanlagen, die abschnittsweise in Bereichen mit unterschiedlichen Umgebungslufttemperaturen angeordnet sind, dürfen entweder abschnittsweise für Bereiche mit gleichen Umgebungslufttemperaturen berechnet werden, oder es darf für die Berechnung die Umgebungslufttemperatur entsprechend den Anteilen der Außenfläche ermittelt werden.

$$T_u = \frac{(T_{uh} \cdot A_{uh}) + (T_{uw} \cdot A_{uw}) + (T_{uo} \cdot A_{uo})}{A_{uh} + A_{uw} + A_{uo}} \quad (5)$$

Dabei ist:

A_{uh} Außenfläche der Abgasanlage in beheizten Bereichen
 A_{uo} Außenfläche der Abgasanlage außerhalb des Gebäudes
 A_{uw} Außenfläche der Abgasanlage in unbeheizten Bereichen.

Wenn die Anteile der Außenfläche außerhalb des Gebäudes und in unbeheizten Bereichen 1/4 der Gesamtaußenfläche der Abgasanlage nicht übersteigt, darf als Umgebungstemperatur $T_u = 288,15\text{ K}$ ($t_L = 15\text{ °C}$) gewählt werden.

5.7.2 Außenluftdruck p_L

Der Außenluftdruck p_L ist in Abhängigkeit von der Höhenlage in Pascal zu ermitteln.

$$p_L = 101325 \cdot e^{(-g \cdot z) / (R_L \cdot T_L)} - 4300 \quad (6)$$

Dabei ist:

g Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²
 R_L Gaskonstante der Luft, in Joule pro Kilogramm Kelvin
 T_L Außenlufttemperatur, in Kelvin
 z geodätische Höhe, in Meter
4 300 witterungsbedingter Schwankungsbereich des Außenluftdruckes, in Pascal
101 325 Außenluftdruck in Meereshöhe, in Pascal

5.7.3 Gaskonstante

5.7.3.1 Gaskonstante der Luft R_L

Die Gaskonstante der Luft R_L beträgt 288 J/(kg·K) (Wassergehalt $\sigma(\text{H}_2\text{O}) = 1,1\text{ Volumen-\%}$).

5.7.3.2 Gaskonstante des Abgases R

Die Gaskonstante des Abgases R hängt von der Zusammensetzung des Abgases ab.

Der Wert R für die wichtigsten Brennstoffe für einen planmäßigen Betrieb ohne Kondensation, z. B. in herkömmlichen Abgasanlagen oder für einen planmäßigen Betrieb mit Teilkondensation, z. B. in feuchteunempfindlichen Abgasanlagen, darf den Bildern B.14a und B.14b entnommen werden.

Die Berechnungsdaten der Bilder B.14a und B.14b sind in Tabelle B.1 enthalten.

5.7.4 Dichte der Außenluft ρ_L

Die Dichte der Außenluft ρ_L in Kilogramm pro Kubikmeter errechnet sich nach

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L \cdot T_L} \quad (7)$$

Dabei ist:

p_L	Außenluftdruck, in Pascal
R_L	Gaskonstante der Luft, in Joule pro Kilogramm Kelvin
T_L	Außenlufttemperatur, in Kelvin

5.7.5 Spezifische Wärmekapazität des Abgases c_p

Die spezifische Wärmekapazität des Abgases c_p ist für verschiedene Brennstoffe in Bild B.15 und die Werte für die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität sind in Tabelle B.1 angegeben.

5.7.6 Taupunkt T_{sp}

Für Gas und Heizöl EL: der Taupunkt T_{sp} des Abgases ist der Wasserdampftaupunkt T_p . In diesen Fällen gilt:

$$T_{sp} = T_p \quad (8)$$

Der Wasserdampftaupunkt T_p des Abgases für verschiedene Brennstoffe und Volumenkonzentrationen an CO_2 im Abgas darf Bild B.16 und Tabelle B.1 entnommen werden.

Für Kohle, Schweröl und Holz ist der Taupunkt des Abgases der Taupunkt T_{sp} . In diesen Fällen gilt:

$$T_{sp} = T_p + \Delta T_{sp} \quad (9)$$

Für Koks und Schweröl darf die Taupunkterhöhung durch Schwefelsäure im Abgas (ΔT_{sp}) Bild B.19 entnommen werden. Für die genaue Bestimmung des Säuretaupunktes ist die Kenntnis der Konvertierung von Schwefeldioxid in Schwefeltrioxid notwendig. Als Anhaltswert darf die Volumenkonzentration von Schwefeltrioxid (SO_3) mit etwa 1 % der von Schwefeldioxid (SO_2) angenommen werden.

Für Holz ist die Taupunkterhöhung (ΔT_{sp}) zur Berücksichtigung der Säurekondensation 15 K. $\Delta T_{sp} = 15$ K.

5.7.7 Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeherrschung S_H

Der Korrekturfaktor S_H für fehlende Temperaturbeherrschung beträgt 0,5.

5.7.8 Strömungstechnische Sicherheitszahl S_E

Die strömungstechnische Sicherheitszahl ist mit $S_E = 1,5$ anzusetzen, ausgenommen für genau geregelte Wärmeerzeuger und Abgasanlagen und für raumluftunabhängige Wärmeerzeuger, bei denen 1,2 verwendet werden darf.

5.8 Ermittlung der Temperaturen

Für den Druck- und Temperaturnachweis müssen die mittleren Abgastemperaturen und die Abgastemperaturen an der Ausmündung der Abgasanlage ermittelt werden.

Die mittlere Temperatur des Abgases T_m in Kelvin wird nach folgender Gleichung berechnet.

$$T_m = T_u + \frac{T_e - T_u}{K} \cdot (1 - e^{-K}) \quad (10)$$

Die Abgastemperatur an der Ausmündung der Abgasanlage T_e in Kelvin wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_e = T_u + (T_w - T_u) \cdot e^{-K} \quad (11)$$

Die mittlere Abgastemperatur im Verbindungsstück T_{mv} in Kelvin wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{mv} = T_u + \frac{T_w - T_u}{K_v} \cdot (1 - e^{-K_v}) \quad (12)$$

Die Abgastemperatur an der Einmündung der Abgasanlage T_e in Kelvin wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_e = T_u + (T_w - T_u) \cdot e^{-K_v} \quad (13)$$

Dabei ist:

- K Abkühlzahl (siehe 5.8.1)
- K_v Abkühlzahl des Verbindungsstückes (siehe 5.8.2)
- T_u Umgebungslufttemperatur (siehe 5.7.1.2), in Kelvin
- T_w Abgastemperatur der Feuerstätte, in Kelvin

5.8.1 Berechnung der Abkühlzahl K

Die Abkühlzahl K wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$K = \frac{U \cdot k \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} \quad (14)$$

Dabei ist:

- c_p spezifische Wärmekapazität des Abgases (siehe 5.7.5), in Joule pro Kilogramm Kelvin
- k Wärmedurchgangskoeffizient (siehe 5.8.2), in Watt pro Quadratmeter Kelvin
- L Länge der Abgasanlage, in Meter
- $\dot{m}$ Abgasmassenstrom (siehe 5.5.1), in Kilogramm pro Sekunde
- U innerer Umfang der Abgasanlage, in Meter

Für die Abkühlzahl K_v des Verbindungsstückes sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes einzusetzen.

5.8.2 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung k_b ist in Watt pro Quadratmeter Kelvin nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{hs} \cdot \alpha_s}} \quad (15)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Abgasanlage für fehlende Temperaturbeharrung k ist in Watt pro Quadratmeter Kelvin nach folgender Gleichung zu berechnen:

Dabei ist:

- D_h innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + S_H \cdot \left[\left(\frac{1}{\lambda} \right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_a} \right]} \quad (16)$$

- D_{ha} äußerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
 S_H Korrekturfaktor für fehlende Temperaturbeharrung (siehe 5.7.7)
 α_a äußerer Wärmeübergangskoeffizient (siehe 5.8.2.2), in Watt pro Quadratmeter Kelvin
 α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient (siehe 5.8.2.1), in Watt pro Quadratmeter Kelvin
 $\left(\frac{1}{\lambda} \right)$ Wärmedurchlaßwiderstand (siehe 5.6.2), in Quadratmeter Kelvin pro Watt

5.8.2.1 Innerer Wärmeübergangskoeffizient α_i

Der Wärmeübergangskoeffizient in der Abgasanlage α_i wird in Watt pro Quadratmeter Kelvin nach folgender Gleichung berechnet:

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A \cdot Nu}{D_h} \quad (17)$$

Dabei ist:

- D_h innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
 Nu Nusselt-Zahl
 λ_A Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in Watt pro Meter Kelvin

Die Wärmeleitfähigkeit des Abgases λ_A hängt von der mittleren Abgastemperatur ab (siehe Bild B.18).

Die über die Höhe der Abgasanlage gemittelte Nusselt-Zahl Nu ergibt sich für turbulente Rohrströmung nach:

$$Nu_u = \left(\frac{\psi}{\psi_{glatt}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re^{0,8} - 100) \cdot Pr^{0,4} \cdot \left[1 + \left(\frac{D_h}{L_{ges}} \right)^{0,67} \right] \quad (18)$$

Dabei ist:

- D_h innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
 L_{ges} gesamte gestreckte Länge von der Abgaseinmündung in die Abgasanlage bis zur Ausmündung der Abgasanlage (L_{gesv} gilt in ähnlicher Weise für das Verbindungsstück: gesamte gestreckte Länge vom Abgasstutzen der Feuerstätte bis zur Abgaseinmündung in die Abgasanlage), in Meter
 Pr Prandtl-Zahl
 Re Reynolds-Zahl
 ψ Rohrreibungszahl für hydraulisch raue Strömung, siehe Bild B.20
 ψ_{glatt} Rohrreibungszahl für hydraulisch glatte Strömung, siehe Bild B.20 ($r = 0$)

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

Für eine mittlere Abgasgeschwindigkeit $w_m < 0,5$ m/s ist die Nusselt-Zahl entsprechend $w_m = 0,5$ m/s zu wählen. Für Reynolds-Zahlen unter 2 300 gilt die Nusselt-Zahl für $Re = 2\,300$.

Die Prandtl-Zahl Pr ergibt sich nach der Gleichung:

$$Pr = \frac{\eta_A \cdot c_p}{\lambda_A} \quad (19)$$

Die Reynolds-Zahl Re ergibt sich nach der Gleichung:

$$Re = \frac{w_m \cdot D_h \cdot \rho_m}{\eta_A} \quad (20)$$

Dabei ist:

c_p	spezifische Wärmekapazität des Abgases, in Joule pro Kilogramm Kelvin
D_h	innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
w_m	mittlere Abgasgeschwindigkeit (siehe 5.9), in Meter pro Sekunde
η_A	dynamische Viskosität des Abgases, in Newton Sekunde pro Quadratmeter
λ_A	Wärmeleitfähigkeit des Abgases, in Watt pro Meter Kelvin
ρ_m	mittlere Dichte des Abgases, in Kilogramm pro Kubikmeter

Die dynamische Viskosität η_A hängt von der Abgastemperatur ab (siehe Bild B.19).

5.8.2.2 Äußerer Wärmeübergangskoeffizient α_a

Der äußere Wärmeübergangskoeffizient α_a beträgt $\alpha_a = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ für Verbindungsstücke und Abgasanlagen im Inneren von Gebäuden und $\alpha_a = 23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ für freiliegende Verbindungsstücke und freistehende Abgasanlagen.

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

Wenn Teile von Abgasanlagen freistehend sind, jedoch mit Verkleidungen mit einem Luftspalt von mindestens 1 cm, jedoch nicht mehr als 5 cm, versehen sind, beträgt der äußere Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_a = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

5.9 Ermittlung der Dichte des Abgases und der Abgasgeschwindigkeit

Die mittlere Dichte des Abgases ρ_m ist in Kilogramm pro Kubikmeter nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\rho_m = \frac{p_L}{R \cdot T_m} \quad (21)$$

Dabei ist:

p_L	Außenluftdruck (siehe 5.7.2), in Pascal
R	Gaskonstante des Abgases, in Joule pro Kilogramm Kelvin
T_m	mittlere Abgastemperatur (siehe 5.8), in Kelvin

Die mittlere Abgasgeschwindigkeit w_m ist in Meter pro Sekunde nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$w_m = \frac{\dot{m}}{A \cdot \rho_m} \quad (22)$$

Dabei ist:

A	lichter Abgasanlagen-Querschnitt, in Quadratmeter
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom (siehe 5.5.1), in Kilogramm pro Sekunde
ρ_m	mittlere Dichte des Abgases, in Kilogramm pro Kubikmeter

Für die mittlere Dichte des Abgases ρ_{mV} und die mittlere Abgasgeschwindigkeit w_{mV} im Verbindungsstück sind die entsprechenden Werte des Verbindungsstückes zu verwenden.

5.10 Berechnung des Unterdruckes an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_z

Der Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_z ist in erster Linie abhängig vom Abgasmassenstrom und der Abgastemperatur, der wirksamen Höhe der Abgasanlage, dem Querschnitt und den Bemessungskennwerten (Rauigkeit und Wärmedurchlaßwiderstand) der Abgasanlage.



Der Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_Z in Pascal wird aus der Differenz zwischen dem Ruhedruck P_H und dem Widerstandsdruck in der Abgasanlage P_R sowie dem Winddruck P_L bestimmt.

$$P_Z = P_H - P_R - P_L \quad (23)$$

Dabei ist:

P_H	Ruhedruck, in Pascal
P_L	Winddruck, in Pascal
P_R	Widerstandsdruck in der Abgasanlage, in Pascal

5.10.1 Ruhedruck P_H

Der Ruhedruck P_H in Pascal ergibt sich nach der Gleichung:

$$P_H = H \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_m) \quad (24)$$

Dabei ist:

H	wirksame Höhe der Abgasanlage, in Meter
g	Erdbeschleunigung = 9,81 m/s ²
ρ_L	Dichte der Außenluft, in Kilogramm pro Kubikmeter
ρ_m	mittlere Dichte des Abgases, in Kilogramm pro Kubikmeter

5.10.2 Widerstandsdruck in der Abgasanlage P_R

Der Widerstandsdruck in der Abgasanlage P_R in Pascal ergibt sich nach der folgenden Gleichung:

$$P_R = S_E \cdot P_E + S_{EG} \cdot P_G \quad (25)$$

$$P_R = S_E \cdot \left(\psi \cdot \frac{L}{D_h} + \sum_n \zeta_n \right) \cdot \frac{\rho_m}{2} \cdot w_m^2 + S_{EG} \cdot P_G \quad (26)$$

Für $P_G \geq 0$ $S_{EG} = S_E$
Für $P_G < 0$ $S_{EG} = 1,0$

Dabei ist:

D_h	innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
L	Länge der Abgasanlage, in Meter
P_E	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand in der Abgasanlage, in Pascal
P_G	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung in der Abgasanlage, in Pascal
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl
S_{EG}	strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung
w_m	mittlere Abgasgeschwindigkeit, in Meter pro Sekunde
ρ_m	mittlere Dichte des Abgases, in Kilogramm pro Kubikmeter
ψ	Rohrreibungszahl
$\sum_n \zeta_n$	Summe der Einzelwiderstandszahlen

5.10.2.1 Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases in der Abgasanlage P_G

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases in der Abgasanlage P_G in Pascal ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$P_G = \frac{\rho_2}{2} \cdot w_2^2 - \frac{\rho_1}{2} \cdot w_1^2 \quad (27)$$

Dabei ist:

w_1	Abgasgeschwindigkeit vor der Geschwindigkeitsänderung, in Meter pro Sekunde
w_2	Abgasgeschwindigkeit nach der Geschwindigkeitsänderung, in Meter pro Sekunde
ρ_1	Dichte des Abgases vor der Geschwindigkeitsänderung, in Kilogramm pro Kubikmeter
ρ_2	Dichte des Abgases nach der Geschwindigkeitsänderung, in Kilogramm pro Kubikmeter

Für die Dichten und Geschwindigkeiten vor und nach einer Geschwindigkeitsänderung dürfen die Mittelwerte für die entsprechenden Abschnitte eingesetzt werden.

5.10.2.2 Rohrreibungszahl ψ

Die Rohrreibungszahl ψ darf für verschiedene Rauigkeiten nach Gleichung (28) berechnet werden. Die Werte dürfen Bild B.20 entnommen werden.

$$\frac{1}{\sqrt{\psi}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\psi}} + \frac{r}{3,71 \cdot D_h} \right) \quad (28)$$

Dabei ist:

D_h	hydraulischer Durchmesser, in Meter
r	Mittelwert der Rauigkeit der Innenwand, in Meter
Re	Reynolds-Zahl
ψ	Rohrreibungszahl

Für Reynolds-Zahlen unter 2 300 gilt die Rohrreibungszahl für die Reynolds-Zahl von 2 300.

5.10.2.3 Einzelwiderstandszahl ζ

Die Summe der Einzelwiderstandszahlen der Abgasanlage $\sum \zeta$ hängt von den Querschnitts- und Richtungsänderungen in der Abgasanlage ab (Tabelle B.9). Die Einzelwiderstandszahl für die Querschnittserweiterung an der Mündung darf entfallen, wenn die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung an dieser Stelle nicht berücksichtigt wird.

5.10.3 Winddruck P_L

Der Winddruck P_L ist im Inland (mehr als 20 km von der Küste entfernt) mit 25 Pa und an der Küste mit 40 Pa anzunehmen, wenn sich die Ausmündung der Abgasanlage weniger als 40 cm über dem Dachfirst befindet, und wenn die Ausmündung der Abgasanlage

- sich auf einem Dach mit einer Neigung von mehr als 40° befindet oder
- sich auf einem Dach mit einer Neigung von mehr als 25° befindet und wenn die Öffnung für Verbrennungsluft und die Ausmündung der Abgasanlage sich auf unterschiedlichen Seiten des Firstes befinden und der horizontale Abstand der Ausmündung der Abgasanlage zum First größer als 1 m ist oder
- wenn sich die vorhandene Ausmündung innerhalb eines Umkreises von 15 m von angrenzenden Bauwerken befindet und der Öffnungswinkel in der Horizontalen 30° beträgt sowie seine Oberkante, von der Ausmündung aus betrachtet, sich um mehr als 10° über die Horizontale erhebt (siehe Anhang D).

Der Wert P_L darf geändert werden, wenn die Abgasanlage einen Aufsatz mit spezifischem aerodynamischen Leistungsvermögen besitzt.

In allen anderen Fällen beträgt $P_L = 0$ Pa.

5.11 Notwendiger Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_{Ze}

Der notwendige Unterdruck an der Abgaseinmündung in die Abgasanlage P_{Ze} in Pascal setzt sich aus dem notwendigen Förderdruck für den Wärmeerzeuger P_w , dem notwendigen Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} und dem notwendigen Förderdruck für die Zuluft P_B zusammen.

$$P_{Ze} = P_w + P_{FV} + P_B \quad (29)$$

5.11.1 Notwendiger Förderdruck für die Feuerstätte P_w

Der notwendige Förderdruck für die Feuerstätte P_w ist nach 5.5.3 zu ermitteln.

5.11.2 Notwendiger Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV}

Der notwendige Förderdruck für das Verbindungsstück P_{FV} in Pascal ist nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$P_{FV} = P_{RV} - P_{HV} \quad (30)$$

Dabei ist:

P_{HV}	Ruhedruck im Verbindungsstück, in Pascal
P_{RV}	Widerstandsdruck im Verbindungsstück, in Pascal

Besteht das Verbindungsstück aus mehreren Abschnitten unterschiedlicher Bemessung, ist die Berechnung für jeden Abschnitt durchzuführen. Der Widerstandsdruck und der Ruhedruck der einzelnen Abschnitte sind zu summieren.

5.11.2.1 Ruhedruck im Verbindungsstück P_{HV}

Der Ruhedruck im Verbindungsstück P_{HV} in Pascal berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$P_{HV} = H_V \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mV}) \quad (31)$$

Dabei ist:

g	Erdbeschleunigung = 9,81 m/s ²
H_V	Differenz der Höhen zwischen der Abgaseinmündung in die Abgasanlage und dem Abgasstutzen der Feuerstätte, in Meter
ρ_L	Dichte der Außenluft (siehe 5.7.4), in Kilogramm pro Kubikmeter
ρ_{mV}	mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück, in Kilogramm pro Kubikmeter

Liegt die Abgaseinmündung in die Abgasanlage tiefer als der Abgasstutzen der Feuerstätte, wird P_{HV} negativ.

5.11.2.2 Widerstandsdruck im Verbindungsstück P_{RV}

Der Widerstandsdruck im Verbindungsstück P_{RV} in Pascal ergibt sich nach:

$$P_{RV} = S_E \cdot P_{EV} + S_{EG} \cdot P_{GV} \quad (32)$$

$$P_{RV} = S_E \cdot \left(\psi_V \cdot \frac{L_V}{D_{hV}} + \sum_n \zeta_{Vn} \right) \cdot \frac{\rho_{mV}}{2} \cdot w_{mV}^2 + S_{EGV} \cdot P_{GV} \quad (33)$$

Für $P_{GV} \geq 0$ $S_{EGV} = S_E$
Für $P_{GV} < 0$ $S_{EGV} = 1,0$

Dabei ist:

D_{hV}	innerer hydraulischer Durchmesser des Verbindungsstückes, in Meter
L_V	Länge des Verbindungsstückes, in Meter
P_{EV}	Widerstandsdruck aus Reibung und Formwiderstand im Verbindungsstück, in Pascal
P_{GV}	Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases im Verbindungsstück, in Pascal
S_E	strömungstechnische Sicherheitszahl
S_{EGV}	strömungstechnische Sicherheitszahl für Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung im Verbindungsstück
w_{mV}	mittlere Geschwindigkeit des Abgases im Verbindungsstück, in Meter pro Sekunde
ρ_{mV}	mittlere Dichte des Abgases im Verbindungsstück, in Kilogramm pro Kubikmeter
ψ_V	Rohrreibungszahl des Verbindungsstückes (siehe 5.10.2.2)
$\sum_n \zeta_{Vn}$	Summe der Einzelwiderstandszahlen des Verbindungsstückes, in Meter

Die mittlere Geschwindigkeit w_{mv} des Abgases im Verbindungsstück ist nach 5.9, Gleichung (22), mit den Werten für das Verbindungsstück zu berechnen.

Die Rohrreibungszahl des Verbindungsstückes ist nach 5.10.2.2 mit den Werten für das Verbindungsstück zu berechnen.

Die Summe der Einzelwiderstandszahlen $\sum_n \zeta_{v_n}$ für das Verbindungsstück hängt von den Querschnitts- und Richtungsänderungen zwischen Abgasstutzen der Feuerstätte und Abgasanlage ab. ζ -Werte sind in Tabelle B.9 für übliche Querschnitts- und Richtungsänderungen zusammengestellt.

Die Druckänderung durch Geschwindigkeitsänderung des Abgases im Verbindungsstück P_{GV} ist nach 5.10.2.1, Gleichung (27), mit den Werten für das Verbindungsstück zu berechnen.

5.11.3 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft P_B

Der notwendige Förderdruck für die Zuluft P_B wird nach der Beschaffenheit des Aufstellungsraumes bestimmt (Größe, Art und Anzahl von Fenstern und Türen, Ausstattung mit Lüftungsanlagen und zusätzlichen Feuerstätten usw.).

Für Aufstellungsräume mit Lüftungsöffnungen für Wärmeerzeuger beträgt $P_B = 3$ Pa. Für Räume ohne Lüftungsöffnungen wird P_B mit mindestens 4 Pa angesetzt.

Wird dem Aufstellungsraum die Verbrennungsluft durch Lüftungsöffnungen oder -leitungen mit über die Länge gleichbleibendem Querschnitt zugeführt, wird P_B in Pascal nach folgender Gleichung bestimmt:

$$P_B = S_{EB} \cdot \left(\psi_B \cdot \frac{L_B}{D_{hB}} + \sum_n \zeta_{B,n} \right) \cdot \frac{\rho_B}{2} \cdot w_B^2 \quad (34)$$

Dabei ist:

D_{hB}	innerer hydraulischer Durchmesser der Lüftungsöffnungen oder der Verbrennungsluftleitung, in Meter
L_B	Länge der Lüftungsöffnungen oder der Verbrennungsluftleitung, in Meter
S_{EB}	strömungstechnische Sicherheitszahl für Zuluft (S_{EB} beträgt gewöhnlich 1,2)
w_B	Geschwindigkeit in den Lüftungsöffnungen oder der Verbrennungsluftleitung, in Meter pro Sekunde
ρ_B	Dichte der Verbrennungsluft, in Kilogramm pro Kubikmeter
$\sum_n \zeta_{B,n}$	Rohrreibungszahl der Lüftungsöffnungen oder der Verbrennungsluftleitung Summe der Einzelwiderstandszahlen der Lüftungsöffnungen oder der Verbrennungsluftleitung

Für die Ermittlung der Rohrreibungszahl für die Lüftungsöffnungen oder die Verbrennungsluftleitung ψ_B gilt 5.10.2.2.

Die Einzelwiderstandszahlen für die Lüftungsöffnungen oder die Verbrennungsluftleitung $\sum \zeta_{B,n}$ für die Eintrittsöffnung, die Austrittsöffnung und Richtungsänderungen in der Leitung sind Tabelle B.9 zu entnehmen. Sie müssen über die gesamte Länge der Lüftungsöffnungen oder der Leitung summiert werden.

Die Geschwindigkeit in der Verbrennungsluftleitung w_B in Meter pro Sekunde ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$w_B = \frac{\beta \cdot \dot{m}}{A_B \cdot \rho_B} \quad (35)$$

Dabei ist:

A_B	lichter Querschnitt der Verbrennungsluftleitung, in Quadratmeter
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom, in Kilogramm pro Sekunde

β Verhältnis der Massenströme von Verbrennungsluft zu Abgas
 ρ_B Dichte der Verbrennungsluft, in Kilogramm pro Kubikmeter

Als Näherung darf $\beta = 0,9$ angenommen werden.

Die Dichte der Verbrennungsluft ist nach 5.7.4 zu bestimmen.

5.12 Berechnung der Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage T_{lob}

Die Innenwandtemperatur an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung T_{lob} in Kelvin ist nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$T_{lob} = T_{ob} - \frac{k_{ob}}{\alpha_i} \cdot (T_{ob} - T_{uo}) \quad (36)$$

Dabei ist:

k_{ob} Wärmedurchgangskoeffizient an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, in Watt pro Quadratmeter Kelvin
 T_{ob} Abgastemperatur an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, in Kelvin
 T_{uo} Umgebungslufttemperatur für den Temperaturvergleich an der Mündung der Abgasanlage, in Kelvin
 α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient, in Watt pro Quadratmeter Kelvin

Der Wärmedurchgangskoeffizient an der Mündung der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung k_{ob} in Watt pro Quadratmeter Kelvin ist nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$k_{ob} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_o + \frac{D_h}{D_{hao} \cdot \alpha_{ao}}} \quad (37)$$

Dabei ist:

D_h innerer hydraulischer Durchmesser, in Meter
 D_{hao} äußerer hydraulischer Durchmesser an der Mündung der Abgasanlage, in Meter
 α_i innerer Wärmeübergangskoeffizient an der Mündung der Abgasanlage, in Watt pro Quadratmeter Kelvin
 α_{ao} äußerer Wärmeübergangskoeffizient an der Mündung der Abgasanlage, in Watt pro Quadratmeter Kelvin
 $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$ Wärmedurchlaßwiderstand, in Quadratmeter Kelvin pro Watt
 $\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_o$ möglicher zusätzlich anrechenbarer Wärmedurchlaßwiderstand an der Mündung der Abgasanlage, bezogen auf den inneren hydraulischen Durchmesser der Abgasanlage, in Quadratmeter Kelvin pro Watt

Besitzt der obere Teil der Abgasanlage eine zusätzliche Wärmedämmung, ist der Vergleich der Innenwandtemperatur mit der zulässigen Grenztemperatur des Abgases T_g für die Mündung der Abgasanlage und für den Teil unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung vorzunehmen. Die Innenwandtemperatur T_{irb} unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung ergibt sich nach der folgenden Gleichung:

$$T_{irb} = T_{rb} - \frac{k_b}{\alpha_i} \cdot (T_{rb} - T_{ur}) \quad (38)$$

Dabei ist:

T_{rb}	Abgastemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung bei Temperaturbeharrung, in Kelvin
k_b	Wärmedurchgangskoeffizient der Abgasanlage bei Temperaturbeharrung, in Watt pro Quadratmeter Kelvin
T_{ur}	Umgebungslufttemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung, in Kelvin

Der Vergleich der Innenwandtemperatur vor der zusätzlichen Wärmedämmung T_{rb} mit der zulässigen Grenztemperatur des Abgases T_g ist nicht notwendig, wenn der Wert des Wärmedurchlaßwiderstandes der zusätzlichen Dämmung nicht größer als $0,1 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ ist.

Für feuchteunempfindliche Abgasanlagen ist dieser Vergleich nicht notwendig, wenn der Wert der Umgebungslufttemperatur unmittelbar vor der zusätzlichen Wärmedämmung $\geq 0 \text{ °C}$ ist.

Der zusätzlich anrechenbare Wärmedurchlaßwiderstand an der Mündung der Abgasanlage $(1/\Lambda)_0$ ist für allseitig angebrachte zusätzliche Wärmedämmschichten nach 5.6.2 zu berechnen. Luftschichten mit einer Dicke kleiner 1 cm dürfen für den zusätzlich anrechenbaren Wärmedurchlaßwiderstand $(1/\Lambda)_0$ nicht berücksichtigt werden. Bei belüfteten Verkleidungen gilt grundsätzlich $(1/\Lambda)_0 = 0 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ für die Schichten an der Außenseite des Belüftungspaltes.

5.13 Nebenluft

Sofern die Berechnung für den Normalbetrieb der Abgasanlage ohne Einleitung von Nebenluft ergibt, daß die Temperaturbedingung in 5.3 erfüllt wird, ist eine weitere Berechnung für die Wirkung der Einleitung von Nebenluft in die Abgasanlage nicht notwendig.

Sofern die Temperaturbedingung in 5.3 nicht erfüllt ist, wenn die Innenwandtemperatur nach Gleichung (36) ohne Einleitung von Nebenluft in die Abgasanlage berechnet wird, darf eine weitere Berechnung durchgeführt werden, um festzustellen, ob die Temperaturbedingung bei Einleitung von Nebenluft in die Abgasanlage erfüllt werden kann.

Die Menge Nebenluft, die eingeleitet werden kann, ist durch die übergeordnete Bedingung begrenzt, daß die Druckbedingungen in 5.2 erfüllt sind, wenn ohne Nebenluft gerechnet wird.

5.13.1 Berechnungsverfahren

Die Berechnung wird abschnittsweise vom Abgasstutzen des Wärmeerzeugers aus bis zum Einbauort der Strömungssicherung und von dort aus mit geänderten Werten für den Abgasmassenstrom, die Abgastemperatur und die Abgaszusammensetzung bis zur Mündung der Abgasanlage durchgeführt. Für die Betrachtung mit Nebenluft ist dem Abgasmassenstrom ein Nebenluftmassenstrom beizumischen. Aus den Temperaturen und der Zusammensetzung des Abgases vor der Nebenluftbeimischung und aus der Temperatur und der Zusammensetzung der Nebenluft sind die Mischtemperatur und die Zusammensetzung des Abgas-Nebenluft-Gemisches hinter der Nebenluftzuführung zu berechnen. Für die weitere Berechnung sind die physikalischen Eigenschaften (c_p , R , η_A , T_p , λ_A) in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Abgas-Nebenluft-Gemisches zu berechnen.

Die Berechnung ist, ausgehend von einem gewählten Nebenluftstrom, iterativ solange durchzuführen, bis die Betriebsbedingungen erfüllt sind oder der überschüssige Unterdruck aufgebraucht ist ($P_z = P_{ze}$).

Bei Gasfeuerstätten mit Strömungssicherung ist nur die zusätzlich zum planmäßigen Abgasmassenstrom beigemischte Nebenluft zu berücksichtigen.

5.13.2 Grundwerte für die Berechnung der Nebenluft

Für die Berechnung des Nebenluftmassenstromes darf die Außenlufttemperatur mit $T_L = T_{\text{uo}}$ angesetzt werden (siehe 5.7.1.2). Für die Berechnung des Nebenluftmassenstromes sind die Umgebungstemperaturwerte von 5.7.1.2 für den Nachweis der Temperaturbedingung zu verwenden.

Als Temperatur der Nebenluft T_{NL} ist die Umgebungstemperatur der Luft des Raumes, aus dem die Luft entnommen wird, zu verwenden.

5.13.3 Mischungsberechnungen

Der Massenstrom nach Nebenluftbeimischung $\dot{m}_M$ in Kilogramm pro Sekunde ergibt sich nach:

$$\dot{m}_M = \dot{m} + \dot{m}_{NL} \quad (39)$$

Die Abgastemperatur nach Nebenluftbeimischung T_M in Kelvin ergibt sich nach:

$$T_M = \frac{\dot{m} \cdot c_{pA} \cdot T_A + \dot{m}_{NL} \cdot c_{pNL} \cdot T_{NL}}{\dot{m} \cdot c_{pA} + \dot{m}_{NL} \cdot c_{pNL}} \quad (40)$$

Die Volumenkonzentration an CO_2 und H_2O in Prozent nach Nebenluftbeimischung ergibt sich nach:

$$\sigma(\text{CO}_2)_M = \frac{\dot{m} \cdot R [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})] \cdot \sigma(\text{CO}_2)}{\dot{m} \cdot R [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})] + \dot{m}_{NL} \cdot R_L [100 - \sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}]} \quad (41)$$

$$\sigma(\text{H}_2\text{O})_M = \frac{\dot{m} \cdot R \cdot \sigma(\text{H}_2\text{O}) + \dot{m}_{NL} \cdot R_L \cdot \sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}}{\dot{m} \cdot R + \dot{m}_{NL} \cdot R_L} \quad (42)$$

Der Wasserdampfgehalt der Nebenluft sollte mit 1,1 % angenommen werden. Dieser Wert entspricht der Konzentration bei einer relativen Luftfeuchte von 60 % bei 15 °C.

Dabei ist:

c_{pA}	spezifische Wärmekapazität des Abgases vor Nebenluftbeimischung, in Joule pro Kilogramm Kelvin
c_{pNL}	spezifische Wärmekapazität der Nebenluft, in Joule pro Kilogramm Kelvin
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom vor Nebenluftbeimischung, in Kilogramm pro Sekunde
$\dot{m}_M$	Abgasmassenstrom nach Nebenluftbeimischung, in Kilogramm pro Sekunde
$\dot{m}_{NL}$	Nebenluftmassenstrom, in Kilogramm pro Sekunde
R	Gaskonstante des Abgases vor Nebenluftbeimischung, in Joule pro Kilogramm Kelvin
R_L	Gaskonstante der Luft, in Joule pro Kilogramm Kelvin
T_A	Temperatur des Abgases vor Nebenluftbeimischung, in Kelvin
T_M	Temperatur des Abgases nach Nebenluftbeimischung, in Kelvin
T_{NL}	Temperatur der Nebenluft, in Kelvin
$\sigma(\text{CO}_2)$	Volumenkonzentration an CO_2 des Abgases vor Nebenluftbeimischung, in Prozent
$\sigma(\text{CO}_2)_M$	Volumenkonzentration an CO_2 des Abgases nach Nebenluftbeimischung, in Prozent
$\sigma(\text{H}_2\text{O})$	Volumenkonzentration von H_2O (Wasserdampf) des Abgases vor Nebenluftbeimischung, in Prozent
$\sigma(\text{H}_2\text{O})_M$	Volumenkonzentration von H_2O (Wasserdampf) des Abgases nach Nebenluftbeimischung, in Prozent
$\sigma(\text{H}_2\text{O})_{NL}$	Volumenkonzentration von H_2O (Wasserdampf) der Nebenluft, in Prozent

5.13.4 Drücke

5.13.4.1 Notwendiger Förderdruck für die Zuluft bei Nebenluft P_{BNL}

Für Bereiche ohne Lüftungsöffnungen ergibt sich der notwendige Förderdruck für die Zuluft P_{BNL} in Pascal bei Nebenluft und Nennwärmeleistung nach:

$$P_{BNL} = P_B \left(1 + \frac{\dot{m}_{NL}}{\beta \cdot \dot{m}} \right)^{1,5} \quad (43)$$

Dabei ist:

$\dot{m}_{NL}$	Nebenluftmassenstrom, in Kilogramm pro Sekunde
$\dot{m}$	Abgasmassenstrom vor Nebenluftbeimischung, in Kilogramm pro Sekunde