



LUFTRANSPORT IN RLT-ANLAGEN ENERGIE- UND KOSTENEINSPARUNG

Teil I, Teil II in einem der
nächsten Hefte

Dipl.-Ing. Franz Klosa,
Weinheim

Einführung

Nicht nur wegen Kosteneinsparungen, sondern auch wegen der ökologischen Vernunft, sollte das Thema der Energieverbrauchsminde- rung eine wichtige Herausforderung für alle daran Beteiligten sein. Die Stagnation des Energieverbrauchs in den hochentwickelten Ländern, wie der Bundesrepublik Deutschland, die vor allem auf den technischen Fortschritt zurückzuführen ist, darf nicht den Eindruck erwecken, daß die Probleme des zukünftigen Energieverbrauchs in der Welt nicht mehr die größte Sorge der Menschheit darstellen. Die in der nahen Zukunft befürchtete Weltbevölkerungsexplosion erhöht zwangsläufig auch drastisch den Weltenergieverbrauch. Die damit verbundenen und befürchteten großen Klimaveränderungen werden dann uns alle betreffen. Das Beispiel der Energiesparung für die ganze Welt muß von den technisch hochentwickelten Ländern ausgehen

Der größte Teil der Anstrengungen zur Energieeinsparung war bisher auf die Verbesserung der Gebäudeisolierung, Heizungsregelung und Wärmeerzeugung erfolgreich gerichtet. Der Energietransport durch Pumpen und Ventilatoren in Anlagen, wurde bisher wenig beachtet. Ein beachtliches Energiesparpotential ist u. a. beim Lufttransport von RLT-Anlagen vorhanden. Es ist nunmehr an der Zeit auch auf diesem Sektor die Energieeinsparungsmöglichkeiten »unter die Lupe« zu nehmen und aufzuzeigen. Im vorliegenden Aufsatz wird versucht einiges in diese Richtung zu tun. Näher gesagt, es werden Beispiele von Kanalwiderstandsberechnungen für eine Belüftungsanlage durchgeführt, die einerseits strömungsgünstig, andererseits strömungsungünstig gestaltet und gebaut ist. Der Vergleich der Berechnungen und Ergebnisse wird das Energiesparpotential beim Lufttransport in RLT-Anlagen aufzeigen.

1 Grundsätze zur Projektierung von Kanalnetzen für mechanische Lüftungsanlagen

Vor dem Beginn der Projektierung des Kanalnetzes einer Lüftungsanlage ist es erforderlich, genau die Baupläne, d. h. die Grundrisse und die Schnitte des Gebäudes und dessen Konstruktionselemente, anzuschauen und durchzudenken. In Industriebauten ist die Berücksichtigung der technologischen Prozesse, des Innentransportes, der Anordnung der Maschinen, der Wärmequellen und der Schadstoffquellen erforderlich.

Das Kanalnetz soll möglichst einfach und logisch und ohne nötige Ver-

maschung sein. Große Kanalnetze sollen möglichst vermieden werden. In vielen Fällen, insbesondere bei unterschiedlichen Betriebszeiten, wird es erforderlicher, separate kleinere Anlagen zu planen. Schadstoffe sollen nah der Quelle, ohne eine Möglichkeit der Verbreitung im Raum, abgesaugt werden. Wegen möglichen Undichtigkeiten an den Kanälen sollen Schadstoffe nur unterdruckseitig abtransportiert werden. Folgende Vorgehensweise bei der Planung wird empfohlen:

- 1 Berechnung der erforderlichen Luftmengen für die einzelnen Räume und Eintragung in die Pläne.
- 2 Bestimmung der Anzahl der Zu- und Abluftöffnungen und deren Anordnung in den Räumen.
- 3 Berechnung und Auswahl der Zu- und Abluftöffnungen.
- 4 Situierung und Größenbestimmung der Lüftungszentrale, der Außenluftansaugung und der Fortluftereinrichtung.
- 5 Bestimmung des Kanaltrassenverlaufes und Eintragung der Kanalachsen in die Pläne, mit Abzweigen und Teilstrecken.
- 6 Eintragung der Luftmengen der einzelnen Teilstrecken und Aufaddierung vom weitesten Luftauslaß bis zum Ventilator.
- 7 Berechnung des Kanalnetzes und Auswahl der Einrichtungen für die Luftkonditionierung.

1.1 Allgemeines zur Berechnung des Kanalnetzes

Die Bemessung von Lüftungskanälen besteht aus der Festlegung der Querschnitte und der Berechnung der Luftströmungswiderstände. Der Druckverlust im Hauptkanal einer Lüftungsanlage (sowohl auf der Saug- als auch auf der Druckseite) ist die Summe der Druckverluste für die Überwindung der Reibungswiderstände und der Einzelwiderstände der Kanalformstücke und Anlageneinrichtungen, wie Filter, Erhitzer, Kühler, Wascher, Tropfenabscheider, Schalldämpfer, u. s. w.

Die Druckverluste können anhand der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\Delta p_{\text{ges}} = \Delta p_{\text{H}} + K p_{\text{d}} = (\sum p_{\text{Reib}} + \sum Z_{\text{Fs}} + \sum Z_{\text{Vp}})_{\text{H}} + (\sum p_{\text{Reib}} + \sum Z_{\text{Fs}} + \sum Z_{\text{Vp}})_{\text{D}}$$

$$= (\sum l \cdot R + \sum \xi \cdot \rho \cdot w^2 / 2)_{\text{H}} + (\sum l \cdot R + \sum \xi \cdot \rho \cdot w^2 / 2)_{\text{D}}$$

$$= (\sum l \cdot (\lambda \cdot \rho \cdot w^2 / 2d) + \sum \xi \cdot \rho \cdot w^2 / 2)_{\text{H}} + (\sum l \cdot (\lambda \cdot \rho \cdot w^2 / 2d) + \sum \xi \cdot \rho \cdot w^2 / 2)_{\text{D}}$$

in Pa (N/m²)

wobei:

- Δp_{H} = Druckverlust im Hauptkanal, Pa
- Δp_{D} = Gesamtluftdruck in der Saugöffnung des Ventilators, Pa
- Δp_{D} = Gesamtdruckluft in der Drucköffnung des Ventilators, Pa
- p_{Reib} = Reibungsdruckverlust in den Lüftungskanälen, Pa
- Z_{Fs} = Einzelwiderstände der Formstücke, Pa
- Z_{Vp} = Druckverluste die durch Apparate verursacht werden (Erhitzer, Kühler, Filter, Schalldämpfer, Wascher, Tropfenabscheider, u. s. w.), Pa
- l = Länge der Kanalstrecke, m
- $R = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot w^2}{2d}$ = Spezifischer Reibungsverlust, Pa/m
- ξ = Widerstandsbeiwert für die Einzelwiderstände der Formstücke
- $p_{\text{d}} = \frac{\rho \cdot w^2}{2}$ = dynamischer Druck, Pa
- λ = Reibungszahl für gerade Rohre
- ρ = Dichte der Luft, kg/m³
- w = Lüftgeschwindigkeit, m/s
- d = Rohrdurchmesser, mm

Die Bemessung der Kanalquerschnitte könnte man am besten mit Hilfe eines sog. ökonomischen Druckabfalls durchführen. Dies ist ein spezifischer Druckverlust R , bei dem für den Transport einer bestimmten Luftmenge die Summe der Betriebskosten und der Investitionskosten für die betrachteten Teilstrecken das Minimum erreicht.



Die jährlichen Betriebskosten einer Kanaltelstrecke durch die eine Luftmenge V (m^3/h) durchströmt, bestehen vor allem aus den Kosten der elektrischen Energie, die in diesem Zeitraum vom Ventilator verbraucht wird. Dabei ist es sehr wichtig, ob die Lüftungs- bzw. Klimaanlage nur wenige oder z. B. 2 Std./Tag im Betrieb ist. Die Investitionskosten sind auch mit dem Wert des spezifischen Druckabfalls verbunden. Sie beinhalten die Kosten der Lüftungskanäle mit Zubehör, die Kosten des Ventilators mit dem Motor oder auch die Kosten des Raumvolumens, das von der Lüftungsanlage benötigt wird.

Die Werte des ökonomischen spezifischen Druckabfalls R sind bei kurzen Betriebszeiten größer als bei 16 bzw. 24 Std.-Betrieb am Tag. Das Gegenteil gilt für die Luftmengen; je größer die Luftmengen, desto kleiner der ökonomische spezifische Druckabfall R (Bild 1). In der Literatur befinden sich kaum Angaben über den Wert des ökonomischen spezifischen Druckabfalls R . Es werden nur Richtwerte für die Wahl der Luftgeschwindigkeiten angegeben, wobei der obere Grenzbereich oft nicht von den Druckverlusten, sondern vom Geräuschpegel bestimmt wird. Die Literaturangaben über die ungefähren Luftgeschwindigkeiten streuen in einem relativ großen Bereich und können natürlich nicht als eine solide Grundlage zur optimalen und energiesparenden Bemessung einer Lüftungsanlage dienen.

Ähnlich wie bei modernen Heizungsanlagen sollte auch bei RLT-Anlagen möglichst bald das vorhandene technische know-how und die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten zur Optimierung des Energieverbrauchs eingesetzt werden.

Nach heutigem Wissensstand kann bei runden Kanälen der Kanaldurchmesser bei bekannter Luftmenge, angenommener Luftgeschwindigkeit bzw. angenommenem spezifischen Druckverlust anhand von Rohrreibungsdiagrammen (Bild 5) ermittelt werden. Für rechteckige Kanäle mit den Kantenlängen a und b gibt es keine Rohrreibungsdiagramme. Man benutzt deshalb auch das Diagramm für runde Kanäle, nach vorheriger Bestimmung des gleichwertigen Durchmessers d_v , eines entsprechenden runden Kanals.

Man unterscheidet zwei gleichwertige Durchmesser:

- d_v , bei gleicher Luftgeschwindigkeit, m/s

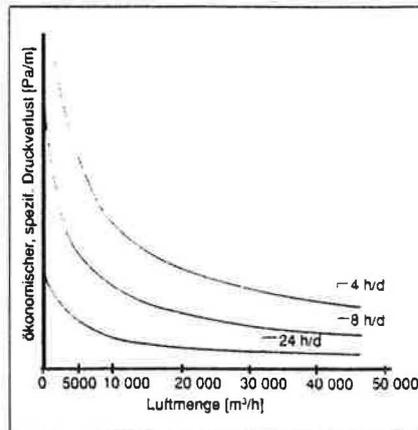


Bild 1: Ökonomischer spezifischer Druckverlust R (Pa/m) in Abhängigkeit der Luftmenge und der Betriebsstunden am Tag, bei dem die Summe der Betriebskosten und der Investitionskosten minimal ist (Beispiel)

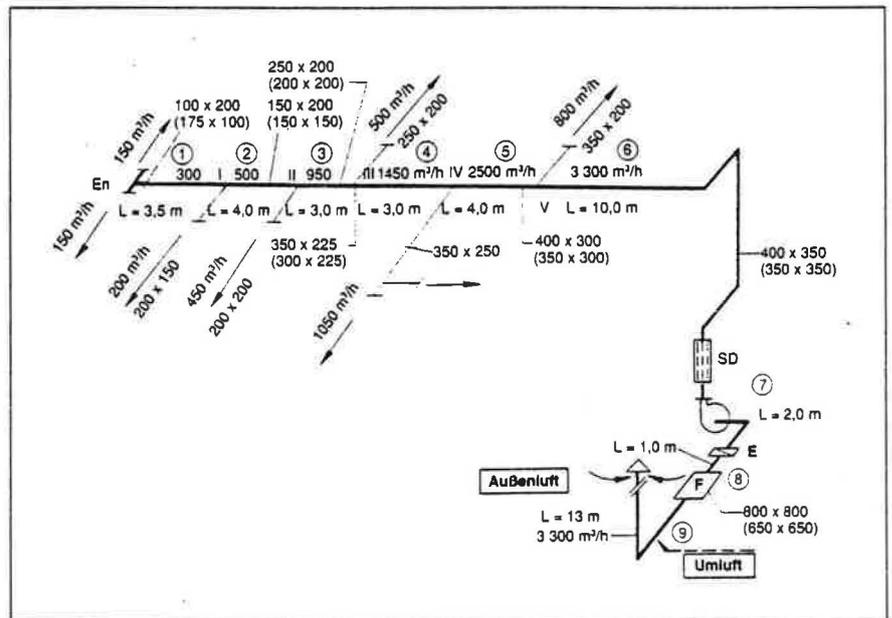


Bild 2: Schema der Belüftungsanlage zu den Beispielen 2.1, 2.2 und 2.3. Kanalabmessungen ohne Klammern betreffen Beispiel 2.1 und 2.2, in Klammern Beisp. 2.3

- D_v , bei gleicher Luftmenge, m^3/h
 Der gleichwertige Durchmesser d_v bei gleicher Luftgeschwindigkeit ist ein Durchmesser eines Rohres mit rundem Querschnitt, das bei Luftdurchströmung mit gleicher Geschwindigkeit wie im Kanal mit rechteckigem Querschnitt, den gleichen spezifischen Reibungswiderstand R verursacht.

Er wird wie folgt berechnet:

$$d_v = \frac{2ab}{a+b} \text{ [mm]}$$

wobei das Verhältnis der Kantenlängen a und b nicht größer als 1 : 5 sein sollte.

Hierzu muß gesagt werden, daß wegen der unterschiedlichen Querschnittsflächen des gleichwertigen runden Kanals gegenüber dem wirklichen rechteckigen Kanal und der gleichen Luftgeschwindigkeit, die Luftleistung in beiden Kanälen unterschiedlich ist.

Zur Bestimmung des spezifischen Reibungsverlustes R für den rechteckigen Kanal bei Verwendung des gleichwertigen Durchmessers d_v bei gleicher Geschwindigkeit, ist es erforderlich als Ausgangsparameter im Diagramm (Bild 5) die gegebene Luftgeschwindigkeit und den berechneten gleichwertigen Durchmesser d_v (ϕ) anzuwenden.

Beispiel:

Luftgeschwindigkeit $w = 5 \text{ m/s}$

Gleichwertiger Durchmesser

$$d_v = 100 \text{ mm}$$

Spezifischer Druckverlust $R = 4 \text{ Pa/m}$

Der gleichwertige Durchmesser D_v bei gleicher Luftleistung ist der Durchmesser eines Rohres mit rundem Querschnitt, das bei gleicher Luftleistung wie im rechteckigen Kanal die gleichen spezifischen Reibungsverluste R verur-

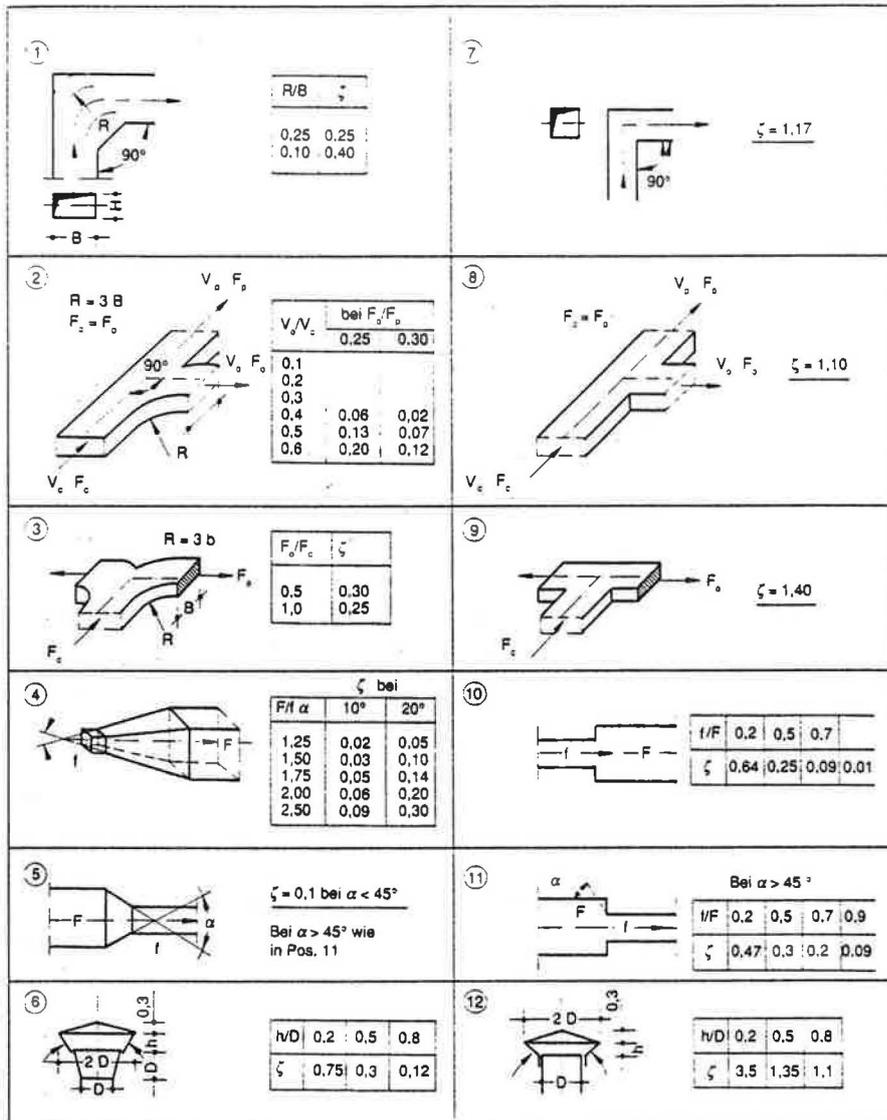


Bild 3: In den Berechnungsbeispielen in Pos. 1 bis 6 – strömungsgünstig (im Beispiel 2.1)

sacht. Der gleichwertige Durchmesser D_v wird wie folgt berechnet:

$$D_v = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,245}} \text{ [mm]}$$

Hierzu muß gesagt werden, daß wegen der unterschiedlichen Querschnittsflächen des gleichwertigen runden Kanals gegenüber dem wirklichen rechteckigen Kanal und der gleichen Luftleistung die Luftgeschwindigkeit in beiden Kanälen unterschiedlich ist.

Bei Anwendung des gleichwertigen Durchmessers d_v bei gleicher Luftgeschwindigkeit sind die Werte w , d und R maßgebend, dagegen sind bei Anwendung des gleichwertigen Durchmessers D_v bei gleicher Luftleistung die Werte V , d und R maßgebend. Nichtbeachtung dieser Prinzipien führt zu großen Fehlern bei den Berechnungen.

Ansatz gebrachte Formstücke Pos. 7 bis 12 – strömungsgünstig (in den Beispielen 2.2 und 2.3)

Bei den vergleichenden Berechnungsbeispielen (Abschnitt 2.1.2 und 2.3) wird der gleichwertige Durchmesser d_v bei gleicher Luftgeschwindigkeit angewendet.

Einzelverluste entstehen durch Strömungsrichtungsänderungen und Querschnittsänderungen. Die Widerstandsbeiwerte werden meistens durch Versuche ermittelt. Zahlenwerte verschiedener Autoren zeigen häufig infolge abweichender Versuchsbedingungen wesentliche Unterschiede voneinander. Bei den vergleichenden Berechnungsbeispielen werden die Widerstandsbeiwerte aus Bild 3 zugrunde gelegt: einerseits die für die strömungsgünstigen Formstücke aus den Pos. 1 bis 6 und andererseits die für die strömungsgünstigen Formstücke aus den Pos. 7 bis 12.

2 Beispiele von Kanalwiderstandsrechnungen

Nachfolgend werden die Widerstände für Kanäle aus glatten Blechen für eine Belüftungsanlage in drei verschiedenen Ausführungsarten berechnet. Einerseits in strömungsgünstiger Gestaltung der Anlagenteile und kleineren Luftgeschwindigkeiten und andererseits in zwei ungünstigeren Ausführungen, wie das oftmals beim Bau von Anlagen realisiert wird. Für Komfortanlagen können gemäß Literatur die Luftgeschwindigkeiten in den Hauptkanälen mit 4 bis 8 m/s angesetzt werden. Der Vergleich der Berechnungsergebnisse der Druckverluste, die von den Ventilatoren aufgebracht werden müssen, wird die Möglichkeit der Energiekostenminderung beim Lufttransport aufzeigen. Die nachfolgenden Berechnungen erheben keinen Anspruch auf vollständige Exaktheit, sie dienen nur zu Vergleichszwecken.

2.1 Belüftungsanlage in strömungsgünstiger Bauweise

Kanalwiderstandsrechnung der Belüftungsanlage nach dem Schema in Bild 2, bei Annahme einer kleineren Luftgeschwindigkeit und bei Anwendung der strömungsgünstigeren Formstücke (Bild 3, Pos. 1 bis 6). Die Ausgangsdaten und Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Teilstrecke 1

Ausblasjalousie

Widerstandsbeiwert der Ausblasjalousie $\zeta = 2,8$, bei freiem Querschnitt von 80 % der Bruttofläche und Abmessungen von 200 mm · 100 mm. Luftmenge $V_h = 150 \text{ m}^3/\text{h}$, Luftgeschwindigkeit bezogen auf die Bruttofläche:

$$w = \frac{150 \text{ m}^3/\text{h}}{0,2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 3600 \text{ s/h}} = 2,1 \text{ m/s}$$

Dynamischer Druck (Geschwindigkeitsdruck oder Staudruck) in der Ausblasjalousie:

$$p_d = w^2 \cdot \rho / 2 = 2,1^2 \cdot 1,2 / 2 = 2,65 \text{ Pa}$$

ρ = Dichte der Luft = 9,204 kg/m³ bei einer Temperatur von $t = 20^\circ\text{C}$ und bei einem atmosphären Druck von $b = 1013 \text{ bar}$.

Die Werte für p_d können auch aus Tabelle 1 entnommen werden. Druckverlust in der Ausblasjalousie:

$$Z_{Au} = \zeta \cdot h_d = 2,8 \cdot 2,65 \text{ Pa} = 7,4 \text{ Pa}$$

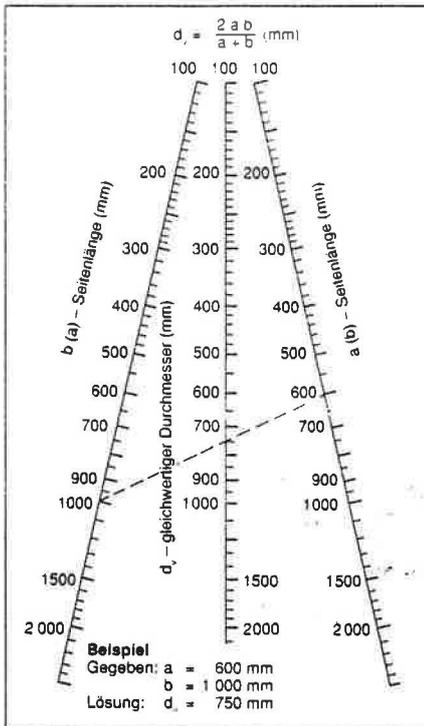


Bild 4: Diagramm für die Bestimmung des gleichwertigen Durchmessers d_v bei gleicher Luftgeschwindigkeit

Kanalgabelung

Luftmenge $V_h = 300 \text{ m}^3/\text{h}$
 $V_s = 0,083 \text{ m}^3/\text{s}$
 Querschnittsfläche
 $F = 0,1 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} = 0,02 \text{ m}^2$
 Luftgeschwindigkeit:

$$w = \frac{300 \text{ m}^3/\text{h}}{0,02 \text{ m}^2 \cdot 3600 \text{ s/h}} = 4,2 \text{ m/s}$$

Dynamischer Druck aus Tabelle 1,
 $p_d = 10,58 \text{ Pa}$
 Widerstandsbeiwert der Gabelung
 $\xi = 0,25$ bei $F_o/F_c = 1$
 (Bild 3 Pos. 3)
 Druckverlust in der Gabelung:
 $Z_G = \xi \cdot p_d = 0,25 \cdot 10,58 \text{ Pa} = 2,6 \text{ Pa}$

Druckverlust im Lüftungskanal von En bis I

Luftmenge $V_h = 300 \text{ m}^3/\text{h}$
 $V_s = 0,083 \text{ m}^3/\text{s}$
 Abmessungen $100 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}$,
 Länge $L = 3,5 \text{ m}$

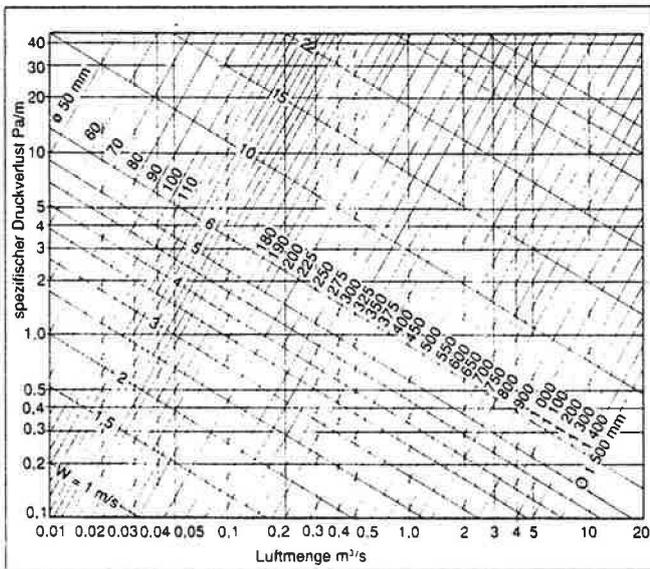


Bild 5: Diagramm für die Berechnung der Luftkanäle

Tabelle 1: Werte des dynamischen Druckes p_d (Geschwindigkeitsdruck, Standdruck) der Luft bei der Dichte $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, der Temperatur $t = 20^\circ \text{ C}$ und dem Atmosphärendruck $b 1,013 \text{ bar}$, $p_d = w^2 \cdot \rho/2$

0.1 w	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
1	0.6	0.73	0.86	1.01	1.18	1.35	1.54	1.73	1.94	2.17
2	2.4	2.65	2.90	3.17	3.46	3.75	4.06	4.73	4.70	5.05
3	5.4	5.77	6.14	6.53	6.94	7.35	7.78	8.21	8.66	9.13
4	9.6	10.09	10.58	11.09	11.62	12.15	12.70	13.25	13.82	14.41
5	15.0	15.61	16.22	16.85	17.50	18.15	18.82	19.49	20.18	20.89
6	21.6	22.33	23.06	23.81	24.58	25.35	26.14	26.93	27.74	28.57
7	29.4	30.25	31.10	31.97	32.86	33.75	34.66	35.57	36.50	37.45
8	38.4	39.37	40.34	41.33	42.43	43.35	44.38	45.41	45.46	47.53
9	48.6	49.69	50.78	51.89	53.02	54.15	55.30	56.45	57.62	58.81
10	60.0	61.21	62.42	63.65	64.90	66.15	67.42	68.69	69.98	71.29
11	72.6	73.93	75.26	76.61	77.98	79.35	80.74	82.13	83.54	84.97
12	86.4	87.85	89.30	90.77	92.26	93.75	95.26	96.77	98.30	99.85

Bild 5 enthält die Druckverluste R je m Rohr für Strömung von Luft mit $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ in geraden runden und glatten Blechkanälen, für die mit ausreichender Genauigkeit die Rauheit $\epsilon = 0$ gesetzt werden kann. Die Druckverluste im Diagramm Bild 5 wurden, zwecks Berücksichtigung der zusätzlichen Druckverluste der Kanalverbindungen, um 10 % erhöht.

Bei rechteckigen Kanälen mit Querschnittsabmessungen a und b ist der gleichwertige hydraulische Durchmesser $d_v = 2ab/(a + b)$ zu verwenden, wobei das Druckgefälle bei gleicher Geschwindigkeit unverändert bleibt. Die Werte für den gleichwertigen Durchmesser d_v können aus Bild 4 entnommen werden.

Bei den Kanalabmessungen $100 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}$ ist $d_v = 133 \text{ mm}$. Aus Bild 5 wird der spezifische Druckverlust abgelesen (bei $w = 4,2 \text{ m/s}$, $d_v = 133 \text{ mm}$) $R = 2,0 \text{ Pa/m}$.

Reibungsverluste:

$$R \cdot L = 2,0 \text{ Pa/m} \cdot 3,5 \text{ m} = 7,0 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalverengung

Verengung $\alpha < 45^\circ$; Widerstandsbeiwert $\xi = 0,1$ (Bild 3, Pos. 5)
 Luftgeschwindigkeit $w = 4,2 \text{ m/s}$
 Dynamischer Druck $p_d = 10,58 \text{ Pa}$ (Tabelle 1)
 Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 20,18 \text{ Pa} = 1,1 \text{ Pa}$$

Die Länge der Formstücke ist bei der Länge des Lüftungskanals zu berücksichtigen.

Teilstrecke 2

Druckverlust im Lüftungskanal von I bis II

Luftmenge $V_h = 500 \text{ m}^3/\text{h}$
 $V_s = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$
 Abmessungen $150 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}$,
 Länge $L = 4,0 \text{ m}$
 gleichwertiger Durchmesser
 $d_v = 171 \text{ mm}$
 spezifischer Reibungsverlust
 $R = 1,7 \text{ Pa/m}$ bei
 Luftgeschwindigkeit $w = 4,6 \text{ m/s}$
 Druckverlust:

$$R \cdot L = 1,7 \text{ Pa/m} \cdot 4,0 \text{ m} = 6,8 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Abzweig

Widerstandsbeiwert $\xi = 0,02$ Bild 3, Pos. 2) bei



$$V_o/V_c = \frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{500 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,4 \text{ und bei}$$

$$F_o/F_p = \frac{0,15 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}}{0,15 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 0,1$$

Dynamischer Druck $p_d = 12,7 \text{ Pa}$ bei $w = 4,6 \text{ m/s}$ (aus Tabelle 1)

Druckverlust im Abzweig:

$$Z_A = \xi \cdot p_d = 0,02 \cdot 12,7 \text{ Pa} = 0,2 \text{ Pa}$$

Die Länge der Formstücke ist in die Gesamtlänge des Lüftungskanals mit einzubeziehen.

Druckverlust in der Kanalverengung

Verengung $\alpha < 45^\circ \text{C}$, $\xi = 0,1$
(Bild 3, Pos. 5)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 12,7 \text{ Pa} = 1,3 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 3

Druckverlust im Lüftungskanal von II bis III

Luftmenge $V_h = 950 \text{ m}^3/\text{h}$,

$V_s = 0,26 \text{ m}^3/\text{s}$

Abmessungen $250 \cdot 200 \text{ mm}$,

Länge $L = 3,00 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser

$d_v = 222 \text{ mm}$

Spezifischer Reibungsverlust

$R = 1,8 \text{ Pa/m}$ bei Luftgeschwindigkeit

$w = 5,2 \text{ m/s}$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 1,8 \text{ Pa/m} \cdot 3,00 \text{ m} = 5,4 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Abzweig

Widerstandsbeiwert $\xi = 0,08$

(Bild 3, Pos. 2) bei

$$V_o/V_c = \frac{450 \text{ m}^3/\text{h}}{950 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,5 \text{ und bei}$$

$$F_o/F_p = \frac{200 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{250 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} = 0,8$$

Dynamischer Druck $p_d = 16,22 \text{ Pa}$ bei $w = 5,2 \text{ m/s}$ (aus Tabelle 1)

Druckverlust im Abzweig:

$$Z_A = \xi \cdot p_d = 0,08 \cdot 16,22 \text{ Pa} = 1,3 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalverengung

Verengung $\alpha < 45^\circ \text{C}$,

$\xi = 0,1$ (Bild 3, Pos. 6)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 16,22 \text{ Pa} = 1,6 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 4

Druckverlust im Lüftungskanal von III bis IV

Tabelle 2: Ausgangsdaten und Ergebnisse der Kanalwiderstandsberechnung Beispiel 2.1, einer Belüftungsanlage in strömungsgünstiger Bauweise

Pos.	Teilst.-str.	Anlagen-Teil	V_h m ³ /h	V_s m ³ /s	$a \times b$ m x m	d_v mm	α m/s	l m	R Pa/m	$R \cdot l$ Pa	ξ	hd Pa	Z Pa	$R \cdot l + Z$ Pa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	E	Jalousie	150	0,042	0,2x0,2	-	2,1	-	-	-	2,80	2,65	7,4	7,4
2	1	Gabelung	300	0,083	0,1x0,2	-	4,2	-	-	-	0,25	10,58	2,6	2,6
3	1	Kanal	300	0,083	0,1x0,2	133	4,2	3,5	2,0	7,0	-	-	-	7,0
4	1	Vereng.	300	0,083	-	-	4,2	-	-	-	0,10	10,58	1,1	1,1
5	2	Kanal	500	0,139	0,15x0,2	171	4,6	4,0	1,7	6,8	-	-	-	6,8
6	2	Abzweig	500	0,139	0,15x0,2	-	4,6	-	-	-	0,02	12,70	0,2	0,2
7	2	Vereng.	500	0,139	-	-	4,6	-	-	-	0,10	12,70	1,3	1,3
8	3	Kanal	950	0,264	0,25x0,2	222	5,2	3,0	1,8	5,4	-	-	-	5,4
9	3	Abzweig	950	0,264	0,25x0,2	-	5,2	-	-	-	0,08	16,22	1,3	1,3
10	3	Vereng.	950	0,264	-	-	5,2	-	-	-	0,10	16,22	1,6	1,6
11	4	Kanal	1450	0,403	0,35x0,225	275	5,1	3,0	1,2	3,6	-	-	-	3,6
12	4	Abzweig	1450	0,403	0,35x0,225	-	5,1	-	-	-	0,00	-	0,0	0,0
13	4	Vereng.	1450	0,403	-	-	5,1	-	-	-	0,10	15,61	1,6	1,6
14	5	Kanal	2500	0,698	0,4x0,3	343	5,8	5,0	1,7	6,0	-	-	-	6,0
15	5	Abzweig	2500	0,698	0,4x0,3	-	5,8	-	-	-	0,05	20,18	1,0	1,0
16	5	Vereng.	2500	0,698	-	-	5,8	-	-	-	0,10	20,18	2,0	2,0
17	6	Kanal	3300	0,916	0,4x0,35	373	6,5	10,0	1,3	13,0	-	-	-	13,0
18	6	Abzweig	3300	0,916	0,4x0,35	-	6,5	-	-	-	0,00	-	0,0	0,0
19	6	Bögen	3300	0,916	0,4x0,35	-	6,5	-	-	-	1,00	25,35	25,3	25,3
20	6	Vereng.	3300	0,916	-	-	6,5	-	-	-	0,10	25,35	2,5	2,5
21	6	Schalld.	3300	0,916	-	-	6,5	-	-	-	-	-	40,0	40,0
22	6	Erweit.	3300	0,916	-	-	6,5	-	-	-	0,06	25,35	1,5	1,5
23	7	Kanal	3300	0,916	(ø 0,4 m)	4,00	7,2	2,0	1,4	2,8	-	-	-	2,8
24	7	Bogen	3300	0,916	(ø 0,4 m)	4,00	7,2	-	-	-	0,10	31,10	3,1	3,1
24	7	Vereng.	3300	0,916	-	-	7,2	-	-	-	0,10	31,10	3,1	3,1
26	7	Erhitzer	3300	0,916	-	-	7,2	-	-	-	-	-	50,0	50,0
27	8	Kanal	3300	0,916	0,5x0,5	473	4,1	1,0	0,4	0,4	-	-	-	0,4
28	8	Vereng.	3300	0,916	-	-	4,1	-	-	-	0,10	10,09	1,0	1,0
29	8	Filter	3300	0,916	0,8x0,8	-	1,0	-	-	-	-	-	80,0	80,0
30	9	Kanal	3300	0,916	0,5x0	473	4,1	13,0	0,4	5,2	-	-	-	5,2
31	9	Erweit.	3300	0,916	-	-	4,1	-	-	-	0,10	10,09	1,0	1,0
32	9	Bogen	3300	0,916	0,5x0,45	-	4,1	-	-	-	0,25	10,09	2,5	2,5
33	9	Ausaug.	3300	0,916	(ø 0,5 m)	500	4,7	-	-	-	0,12	13,25	1,6	1,7
									Σ	50,2			236,4	286,6

Luftmenge $V_h = 1450 \text{ m}^3/\text{h}$

$V_s = 0,26 \text{ m}^3/\text{s}$

Abmessungen $350 \text{ mm} \cdot 225 \text{ mm}$,

Länge $L = 3,0 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser

$d_v = 275 \text{ mm}$

Spezifischer Reibungsverlust

$R = 1,2 \text{ Pa/m}$ bei Luftgeschwindigkeit

$w = 5,1 \text{ m/s}$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 1,2 \text{ Pa/m} \cdot 3,0 \text{ m} = 3,6 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Abzweig

Widerstandsbeiwert $\xi = 0$ (Bild 3, Pos. 2) bei

$$V_o/V_c = \frac{200 \text{ m}^3/\text{h}}{1450 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,32$$

Druckverlust im Abzweig:

$$Z_A = \xi \cdot p_d = 0 \cdot p_d = 0 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalverengung

Verengung $\alpha < 45^\circ \text{C}$,

$\xi = 0,1$ (Abb. 3, Pos. 5)

Dynamischer Druck $p_d = 15,61 \text{ Pa}$ bei

$w = 5,1 \text{ m/s}$ (aus Tabelle 1)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 15,61 \text{ Pa} = 1,6 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 5

Druckverlust im Lüftungskanal von IV bis V

Luftmenge $V_h = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$,

$V_s = 0,698 \text{ m}^3/\text{s}$

Abmessungen $400 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}$,

Länge $L = 5,0 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser

$d_v = 343 \text{ mm}$

Spezifischer Reibungsverlust

$R = 1,2 \text{ Pa/m}$

Luftgeschwindigkeit $w = 5,8 \text{ m/s}$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 1,2 \text{ Pa/m} \cdot 5 \text{ m} = 6,0 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Abzweig

Widerstandsbeiwert $\xi = 0,05$ (Abb. 3, Pos. 2) bei

$$V_o/V_c = \frac{1050 \text{ m}^3/\text{h}}{2500 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,42 \text{ und bei}$$

$$F_o/F_p = \frac{350 \cdot 250}{400 \cdot 300} = 0,72$$

Dynamischer Druck $p_d = 20,18 \text{ Pa}$ bei $w = 5,8 \text{ m/s}$ (aus Tabelle 1)

Druckverlust im Abzweig:

$$Z_A = \xi \cdot p_d = 0,05 \cdot 20,18 \text{ Pa} = 1,0 \text{ Pa}$$



Druckverlust in der Kanalverengung

Verengung $\alpha < 45^\circ \text{C}$.
 $\xi = 0,1$ (Abb. 3, Pos. 5)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 20,18 \text{ Pa} = 2,0 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 6

Druckverlust im Lüftungskanal von V bis zum Ventilator

Luftmenge $V_h = 3300 \text{ m}^3$,

$V_s = 0,916 \text{ m}^3/\text{s}$

Abmessungen $400 \text{ mm} \cdot 350 \text{ mm}$,

Länge $L = 10,0 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser

$d_v = 373 \text{ mm}$

Spezifischer Reibungsverlust

$R = 1,3 \text{ Pa/m}$

Luftgeschwindigkeit $w = 6,5 \text{ m/s}$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 1,3 \text{ Pa/m} \cdot 10,0 \text{ m} = 13,0 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Abzweig

Widerstandsbeiwert $\xi = 0$ (Bild 3, Pos. 2) bei

$$V_d/V_c = \frac{800 \text{ m}^3/\text{h}}{3300 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,24$$

Druckverlust im Abzweig:

$$Z_A = \xi \cdot p_d = 0 \cdot h_d = 0 \text{ Pa}$$

Druckverlust in den Bögen

Bögen mit glatten Leitblechen (Bild 3, Pos. 1)

4 Bögen $\alpha = 90^\circ$, $\xi = 4 \cdot 0,25 = 1,0$

Dynamischer Druck $p_d = 25,35 \text{ Pa}$ bei $w = 6,5 \text{ m/s}$ (aus Tabelle 1)

Druckverlust:

$$Z_B = \xi \cdot p_d = 1,0 \cdot 25,35 \text{ Pa} = 25,3 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalverengung

(Übergang vom Schalldämpfer auf den Lüftungskanal)

Verengung $\alpha < 45^\circ \text{C}$, $\xi = 0,1$

(Bild 3, Pos. 5)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0,1 \cdot 25,35 \text{ Pa} = 2,5 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Schalldämpfer

Angenommen $Z_s = 40,0 \text{ Pa}$

Im Normalfall sollen Herstellerangaben berücksichtigt werden.

Druckverlust in der Kanalerweiterung

(Übergang vom Lüftungskanal auf den Schalldämpfer)

Erweiterung $\alpha = 10^\circ$, $F/f = 2$

(Bild 3, Pos. 4)

Tabelle 3: Ausgangsdaten und Ergebnisse der Kanalwiderstandsberechnung Beispiel 2.2, einer Belüftungsanlage in weniger günstiger Bauweise

Pos.	Teilstr.	Anlagen Teil	V_h m ³ /h	V_s m ³ /s	$a \times b$ m x m	d mm	α m/s	l m	R Pa/m	$R \cdot l$ Pa	ξ	hd Pa	Z Pa	$R \cdot l + Z$ Pa	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	E	Jalousie	150	0,042	0,2x0,2	—	2,1	—	—	—	3,9	2,65	10,3	10,3	
2	1	Gabelung	300	0,083	0,1x0,2	—	4,2	—	—	—	1,4	10,58	14,8	14,8	
3	1	Kanal	300	0,083	0,1x0,2	133	4,2	3,5	2,0	7,0	—	—	7,0	—	
4	1	Vereng.	300	0,083	—	—	4,2	—	—	—	0,21	10,58	2,2	2,2	
5	2	Kanal	500	0,139	0,15x0,2	171	4,6	4,0	1,7	6,8	—	—	—	6,8	
6	2	Abzweig	500	0,139	0,15x0,2	—	4,6	—	—	—	1,1	12,70	14,0	14,0	
7	2	Vereng.	500	0,139	—	—	4,6	—	—	—	0,25	12,70	3,2	3,2	
8	3	Kanal	950	0,264	0,25x0,2	222	5,2	3,0	1,8	5,4	—	—	—	5,4	
9	3	Abzweig	950	0,264	0,25x0,2	—	5,2	—	—	—	1,1	16,22	17,8	17,8	
10	3	Vereng.	950	0,264	—	—	5,2	—	—	—	0,23	12,70	2,9	2,9	
11	4	Kanal	1450	0,403	0,35x0,225	275	5,1	3,0	1,2	3,6	—	—	—	3,6	
12	4	Abzweig	1450	0,403	0,35x0,225	—	5,1	—	—	—	1,1	—	17,2	17,2	
13	4	Vereng.	1450	0,403	—	—	5,1	—	—	—	0,22	15,61	3,4	3,4	
14	5	Kanal	2500	0,698	0,4x0,3	343	5,8	5,0	1,7	6,0	—	—	—	6,0	
15	5	Abzweig	2500	0,698	0,4x0,3	—	5,8	—	—	—	1,1	20,18	24,0	24,0	
16	5	Vereng.	2500	0,698	—	—	5,8	—	—	—	0,1	20,18	2,0	2,0	
17	6	Kanal	3300	0,916	0,4x0,35	373	6,5	10,0	1,3	13,0	—	—	—	13,0	
18	6	Abzweig	3300	0,916	0,4x0,35	—	6,5	—	—	—	1,1	23,35	25,7	25,7	
19	6	Bögen	3300	0,916	0,4x0,35	—	6,5	—	—	—	4,68	23,35	109,3	109,3	
20	6	Vereng.	3300	0,916	—	—	6,5	—	—	—	0,25	23,35	5,8	5,8	
21	6	Schalld.	3300	0,916	—	—	6,5	—	—	—	—	—	40,0	40,0	
22	6	Erweit.	3300	0,916	—	—	6,5	—	—	—	0,25	23,35	6,3	6,3	
23	7	Kanal	3300	0,916	(\emptyset 0,4 m)	4,00	7,2	2,0	1,4	2,8	—	—	—	2,8	
24	7	Bogen	3300	0,916	(\emptyset 0,4 m)	400	7,2	—	—	—	0,10	31,10	7,8	7,8	
24	7	Vereng.	3300	0,916	—	—	7,2	—	—	—	—	31,10	2,0	2,0	
26	7	Erhitzer	3300	0,916	—	—	7,2	—	—	—	—	—	70,0	70,0	
27	8	Kanal	3300	0,916	0,5x0,5	473	4,1	1,0	0,4	0,4	—	—	—	0,4	
28	8	Vereng.	3300	0,916	—	—	4,1	—	—	—	—	—	10,09	0,5	0,5
29	8	Filter	3300	0,916	0,8x0,8	—	1,0	—	—	—	—	—	100,0	100,0	
30	9	Kanal	3300	0,916	0,5x0	473	4,1	13,0	0,4	5,2	—	—	—	5,2	
31	9	Erweit.	3300	0,916	—	—	4,1	—	—	—	0,10	10,09	1,0	1,0	
32	9	Bogen	3300	0,916	0,5x0,45	—	4,1	—	—	—	1,17	10,09	11,8	11,8	
33	9	Ausaug.	3300	0,916	(\emptyset 0,5 m)	500	4,7	—	—	—	3,5	13,25	46,4	46,4	
								Σ		50,2			538,4	588,6	

Tabelle 4: Ausgangsdaten und Ergebnisse der Kanalwiderstandsberechnung Beispiel 2.3, einer Belüftungsanlage in strömungsgünstiger Bauweise

Pos.	Teilstr.	Anlagen Teil	V_h m ³ /h	V_s m ³ /s	$a \times b$ m x m	d mm	α m/s	l m	R Pa/m	$R \cdot l$ Pa	ξ	hd Pa	Z Pa	$R \cdot l + Z$ Pa
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	E	Jalousie	150	0,042	0,15x0,1	—	2,8	—	—	—	4,2	4,7	19,7	19,7
2	1	Gabelung	300	0,083	0,15x0,1	—	5,5	—	—	—	1,4	18,15	25,4	25,4
3	1	Kanal	300	0,083	0,1x0,175	127	4,7	3,5	2,7	9,5	—	—	—	9,5
4	1	Vereng.	300	0,083	—	—	4,7	—	—	—	0,21	13,25	2,8	2,8
5	2	Kanal	500	0,139	0,15x0,15	150	6,2	4,0	3,5	14,0	—	—	—	14,0
6	2	Abzweig	500	0,139	0,15x0,15	—	6,2	—	—	—	1,1	23,06	25,4	25,4
7	2	Vereng.	500	0,139	—	—	6,2	—	—	—	0,27	23,06	6,2	6,2
8	3	Kanal	950	0,264	0,2x0,2	200	6,5	3,0	2,7	8,1	—	—	—	8,1
9	3	Abzweig	950	0,264	0,2x0,2	—	6,5	—	—	—	1,1	25,35	27,9	27,9
10	3	Vereng.	950	0,264	—	—	6,5	—	—	—	0,25	25,35	6,3	6,3
11	4	Kanal	1450	0,403	0,3x0,225	257	6,0	3,0	1,8	5,4	—	—	—	5,4
12	4	Abzweig	1450	0,403	0,3x0,225	—	6,0	—	—	—	1,1	21,60	23,8	23,8
13	4	Vereng.	1450	0,403	—	—	6,0	—	—	—	0,23	21,60	5,0	5,0
14	5	Kanal	2500	0,698	0,35x0,3	—	6,6	4,0	1,6	6,4	—	—	—	6,4
15	5	Abzweig	2500	0,698	0,35x0,3	—	6,6	—	—	—	1,1	26,14	28,7	28,7
16	5	Vereng.	2500	0,698	—	—	6,6	—	—	—	0,1	26,14	2,6	2,6
17	6	Kanal	3300	0,916	0,35x0,35	350	6,5	10,0	1,8	18,0	—	—	—	18,0
18	6	Abzweig	3300	0,916	0,35x0,35	—	7,5	—	—	—	1,1	33,75	40,1	40,1
19	6	Bögen	3300	0,916	0,35x0,35	—	7,5	—	—	—	4,68	33,75	157,9	157,9
20	6	Vereng.	3300	0,916	—	—	7,5	—	—	—	0,3	33,75	10,1	10,1
21	6	Schalld.	3300	0,916	—	—	7,5	—	—	—	—	—	40,0	40,0
22	6	Erweit.	3300	0,916	—	—	7,5	—	—	—	0,5	33,75	16,9	16,9
23	7	Kanal	3300	0,916	(\emptyset 0,35 m)	350	9,5	2,0	2,5	5,0	—	—	—	5,0
24	7	Bogen	3300	0,916	(\emptyset 0,35 m)	350	9,5	—	—	—	0,25	54,15	13,5	13,5
25	7	Vereng.	3300	0,916	—	—	9,5	—	—	—	—	—	2,0	2,0
26	7	Erhitzer	3300	0,916	—	—	9,5	—	—	—	—	—	90,0	90,0
27	8	Kanal	3300	0,916	0,4x0,35	375	6,5	1,0	1,3	1,3	—	—	—	1,3
28	8	Vereng.	3300	0,916	—	—	6,5	—	—	—	—	—	1,0	1,0
29	8	Filter	3300	0,916	0,65x0,65	—	1,6	—	—	—	—	—	120,0	120,0
30	9	Kanal	3300	0,916	0,4x0,35	375	6,5	13,0	1,3	16,9	—	—	—	5,2
31	9	Erweit.	3300	0,916	—	—	6,5	—	—	—	—	—	1,0	1,0
32	9	Bogen	3300	0,916	0,4x0,35	—	6,5	—	—	—	1,17	25,35	29,6	29,6
33	9	Ausaug.	3300	0,916	(\emptyset 0,4 m)	400	7,3	—	—	—	3,5	31,97	111,9	111,9
								Σ		84,6			807,8	892,4



Widerstandsbeiwert $\xi = 0.06$

Druckverlust:

$$Z_E = \xi \cdot p_d = 0.06 \cdot 25.35 \text{ Pa} = 1.5 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 7

Druckverlust im Lüftungskanal vom Ventilator bis zum Lufterhitzer E

Luftmenge $V_h = 3300 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimension 400 mm. Länge $L = 2.0 \text{ m}$

Der Durchmesser des Lüftungskanals entspricht dem Durchmesser der Ventilator-Saugöffnung.

Spezifischer Reibungsverlust

$$R = 1.4 \text{ Pa/m (aus Bild 5)}$$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 1.4 \text{ Pa/m} \cdot 2 \text{ m} = 2.8 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Bogen $\phi 400 \text{ mm}$

Bogen $\alpha = 90^\circ$, $R/D = 1.5$, $\xi = 0.25$

Dynamischer Druck $p_d = 31.10 \text{ Pa}$

Luftgeschwindigkeit

$$w = 7.2 \text{ m/s (aus Tabelle 1)}$$

Druckverlust:

$$Z_B = \xi \cdot p_d = 0.25 \cdot 31.10 \text{ Pa} = 7.8 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalverengung

(Übergang vom Lufterhitzer mit den Abmessungen 700 mm · 600 mm auf den Lüftungskanal $\phi 400 \text{ mm}$)

Verengung $\alpha < 45^\circ$, $\xi = 0.1$

(Bild 3, Pos. 5)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0.1 \cdot 31.10 \text{ Pa} = 3.1 \text{ Pa}$$

Druckverlust durch den Lufterhitzer

Eingebaut ist ein I-reihiger Lufterhitzer

Druckverlust

$$Z_{LE} = 50.0 \text{ Pa}$$

Im Normalfall sollen Herstellerangaben berücksichtigt werden.

Teilstrecke 8

Druckverlust im Lüftungskanal vom Lufterhitzer bis zum Filter

Luftmenge $V_h = 3300 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3/\text{s}$$

Abmessungen 500 mm · 450 mm.

Länge $L = 1.0 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser

$$d_v = 473 \text{ mm}$$

Spezifischer Reibungsverlust

$$R = 0.4 \text{ Pa/m}$$

Luftgeschwindigkeit $w = 4.1 \text{ m/s}$ (aus Bild 5)

Druckverlust:

$$R \cdot L = 0.4 \text{ Pa/m} \cdot 1.0 \text{ m} = 0.4 \text{ Pa}$$

Druckverlust durch die Kanalverengung

(Übergang von der Filterkammer mit den Abmessungen 800 mm · 800 mm)

Verengung $\alpha < 45^\circ$, $\xi = 0.1$

(Abb. 3, Pos. 5)

Dynamischer Druck $p_d = 10.09 \text{ Pa}$

Luftgeschwindigkeit 4.1 m/s

(Tabelle 1)

Druckverlust:

$$Z_v = \xi \cdot p_d = 0.1 \cdot 10.09 \text{ Pa} = 1.0 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Filter

Filter in Zickzackform

Luftanströmgeschwindigkeit

ca. 1.0 m/s

Druckverlustansatz

$$Z_F = 80.0 \text{ Pa}$$

Teilstrecke 9

Druckverlust im Lüftungskanal vom Filter bis zur Außenluftansaugung

Luftmenge wie in Teilstrecke

$$8 V_h = 3300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3/\text{s}$$

Abmessungen wie vor

500 mm · 450 mm.

Länge $L = 13.0 \text{ m}$

Gleichwertiger Durchmesser wie vor

$$d_v = 473 \text{ mm}$$

Spezifischer Reibungsverlust wie vor

$$R = 0.4 \text{ Pa/m}$$

Druckverlust:

$$R \cdot L = 0.4 \text{ Pa/m} \cdot 13.0 \text{ m} = 5.2 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Kanalerweiterung

(Übergang vom Lüftungskanal mit den Abmessungen 500 mm · 450 mm auf die Filterkammer mit den Abmessungen

800 mm · 800 mm)

Erweiterung $\alpha = 10^\circ$, $F/f = 2.8$

Widerstandsbeiwert $\xi = 0.1$

Dynamischer Druck wie vor

$$p_d = 10.09 \text{ Pa}$$

Druckverlust:

$$Z_E = \xi \cdot p_d = 0.1 \cdot 10.09 \text{ Pa} = 1.0 \text{ Pa}$$

Druckverlust im Bogen

Bogen $\alpha = 90^\circ$, $\xi = 0.25$ (Bild 3, Pos. 1)

Dynamischer Druck wie vor

$$p_d = 10.09 \text{ Pa}$$

Druckverlust:

$$Z_B = 0.25 \cdot 10.09 \text{ Pa} = 2.5 \text{ Pa}$$

Druckverlust in der Außenluftansaugung

Außenluftansaugung $\phi 500 \text{ mm}$

(Bild 3, Pos. 6)

Luftmenge $V_s = 0.916 \text{ m}^3/\text{s}$

Luftgeschwindigkeit $w = 4.7 \text{ m/s}$

Dynamischer Druck $p_d = 13.25 \text{ Pa}$ (aus Tabelle 1)

Widerstandsbeiwert bei $h/D = 0.8$

(Bild 3, Pos. 6), $\xi = 0.12$

Druckverlust:

$$Z_{AL} = \xi \cdot p_d = 0.12 \cdot 13.25 \text{ Pa} = 1.6 \text{ Pa}$$

2.2 Belüftungsanlage in weniger strömungsgünstiger Bauweise

Kanalwiderstandsberechnung der Belüftungsanlage nach dem Schema in Bild 2 bei Anwendung der strömungsgünstigeren Formstücke, wie in Bild 3, Pos. 7 bis 12 dargestellt, bei Anwendung strömungsgünstiger Einbaueinrichtungen und bei Annahme der gleichen Geschwindigkeiten wie im Beispiel 2.1. Ausgangsdaten und Ergebnisse siehe Tabelle 3.

2.3 Belüftungsanlage in strömungsgünstiger Bauweise

Kanalwiderstandsberechnung der Belüftungsanlage nach dem Schema in Bild 2, bei Annahme größerer, als im Beispiel Punkt 1.1, Luftgeschwindigkeiten und bei Anwendung der strömungsgünstigeren Formstücke (Bild 3, Pos. 7 bis 12) und Einbaueinrichtungen. Ausgangsdaten und Ergebnisse siehe Tabelle 4.

In Teil II werden die hier hergeleiteten Ergebnisse unter Kostengesichtspunkten diskutiert. Außerdem wird ausführlich über Strömungstechnik und Druckverteilung in Luftkanälen berichtet.