

# LUFTTRANSPORT IN RLT-ANLAGEN ENERGIE- UND KOSTENEINSPARUNG

## 3 Diskussion der Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse aus den Beispielen 2.1, 2.2 und 2.3 sind in Tabelle 5 dargestellt. Die Ergebnisse verdeutlichen, daß durch strömungsgünstige Bauweise der Lüftungsanlage (Pos. 1) etwa 2/3 des Gesamtdruckverlustes, gegenüber einer Anlage mit strömungsgünstiger Bauweise (Pos. 3) abgebaut werden kann.

Strömungsgünstige Bauweise bedeutet gegebenenfalls, strömungsgünstige Gestaltung der Kanalformstücke (vgl. hierzu Pos. 1 bis 6 mit Pos. 7 bis 12 aus Bild 3), strömungsgünstige Auswahl der Apparate (Schalldämpfer, Filter, Erhitzer) und durchschnittlich um etwa 20% kleinere Luftgeschwindigkeiten. Die Verringerung der Luftgeschwindigkeit um 20% erfordert eine Vergrößerung der Kanalflächen um etwa 22% (vgl. Spalte 3 mit Spalte 2 aus Tabelle 5) bzw. um 13 m<sup>2</sup>. Setzt man einen spezifischen Kanalpreis mit rund

### Teil II, Teil I TAB 5/90

Dipl.-Ing. Franz Klosa, Weinheim

Im zweiten Teil dieses Aufsatzes zeigt der Autor anhand von Beispielen, wie groß das Energie- (Kosten-)Einsparpotential ist, das durch Verbesserung der Strömungseigenschaften bei RLT-Anlagen erreicht werden kann.

80 DM/m<sup>2</sup> an, so ergeben sich die Mehrkosten der Kanalflächen mit 1040 DM, bzw. bei einer Annuität von rund 10% mit 104 DM/a.

**Tabelle 5: Zusammenstellung der Berechnungsergebnisse für die Beispiele 2.1, 2.2. und 2.3 der Kanalwiderstandsberechnungen**

Pos.	Beispiel Bauweise	Luft- menge	Kanal- fläche	Mittlere Geschwindigkeit		Reibungs- verluste		Einzel- widerstände		Gesamt Druckverlust		
		1	2	3		4		5		6		
		<i>V</i>	<i>E</i>	<i>W</i>		<i>R · l</i>		<i>E</i>		<i>R · l + Z</i>		
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>2</sup>	%	m/s	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%
1	Beispiel 2.1 Strömungs- günstig	3300	72	122	5,17	80	50,2	59	236,4	29	286,6	32
2	Beispiel 2.2 weniger günstig	3300	72	122	5,14	79	50,2	59	538,4	67	588,6	66
3	Beispiel 2.3 Strömungs- ungünstig	3300	59	100	6,48	100	84,6	100	807,8	100	892,4	100

**Tabelle 6: Zusammenstellung der Kosten aus den Beispielen 2.1, 2.2 und 2.3 der Kanalwiderstandsberechnungen**

Pos.	Beispiel, Bauweise	Luftmenge	Investitions- kosten	Gesamtdruck- verluste	Jahresenergie- verbrauch		Jahresantriebs- kosten	
		m <sup>3</sup> /s	TDM	Pa	kWh/a		DM/a	
					Betriebsstunden/Tag			
					8 h/d	24 h/d	8 h/d	
1	Beispiel 2.1	0,917	23,0	286,6	1472	4415	307	883
2	Beispiel 2.2	0,917	23,0	577,6	3022	9067	630	1813
3	Beispiel 2.3	0,917	24,0	892,4	4583	13748	956	2749

Weiterhin wird gezeigt, daß dies ein sehr geringer Betrag ist, im Vergleich mit der Vergrößerung der Betriebskosten, die durch den größeren Druckverlust verursacht wird.

Die jährlichen Betriebskosten für den Antrieb des Ventilators, d. h. für die Überwindung der Druckverluste, können wie folgt ausgerechnet werden:

$$K_a = P \cdot B_r \cdot Z_a \cdot K_s \text{ in DM/a}$$

Darin bedeuten:

- $K_a$  = jährliche Betriebskosten für den Antrieb des Ventilators, DM/a  
 $P$  = Leistungsbedarf des Ventilatormotors, kW  
 $B_r$  = Betriebsstunden am Tag, h/d  
 $Z_a$  = Betriebstage im Jahr, d/a  
 $K_s$  = Spezifischer Energiepreis, DM/kWh

Der Leistungsbedarf  $P$  errechnet sich wie folgt:

$$P = \frac{V_s \cdot \Delta p_{ges}}{1000 \cdot \eta} \text{ in kW}$$

- $V_s$  = Luftvolumenstrom, m<sup>3</sup>/s  
 $\Delta p_{ges}$  = Gesamtdruckverlust, Pa  
 $\eta$  = Wirkungsgrad des Ventilators

Nachfolgend wird das Beispiel aus Tabelle 6, Pos. 3 (strömungsgünstige Bauweise, 24 Std.-Betrieb) durchgerechnet, wobei die Betriebstage mit 350 d/a, der Wirkungsgrad mit 0,5 und der Preis der Elektroenergie für den Ventilatormotor mit 0,2 DM/kWh angenommen werden. Diese Ansätze gelten dann auch für die anderen Beispiele (Tabelle 6).

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{0,917 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 892,4 \text{ Pa}}{1000 \cdot 0,5} \\
 &\cdot 24 \text{ h/d} \cdot 350 \text{ d/a} \cdot 0,2 \text{ DM/kWh} \\
 &= 2749 \text{ DM/a}
 \end{aligned}$$

Die Ergebnisse der Berechnung der Jahreskosten (Tabelle 6) zeigen deutlich, daß beim Betrieb an 8 h/Tag, der Mehraufwand an Investitionskosten für die Vergrößerung der Luftkanäle (1000 DM) schon nach ca. 1,5 Jahren durch Einsparung der Betriebskosten (956 DM – 307 DM = 649 DM) zurückgezahlt wird; beim 24 Std.-Betrieb sogar schon nach einem halben Jahr (vgl. hierzu Beispiele 1 und 3 aus Tabelle 6).

Keine Vergrößerung der Kanalquerschnitte zur Verringerung der Luftgeschwindigkeit, sondern nur die Anwen-



dung strömungsgünstigerer Formstücke, verkleinern die Betriebskosten um mehr als die Hälfte (vgl. hierzu Pos. 1 und 2 aus Tabelle 6). Die Anwendung strömungsgünstigerer Formstücke (vgl. hierzu Pos. 1 bis 6 und Pos. 7 bis 12 aus Bild 3) dürfen normalerweise keine größeren Investitionskosten verursachen.

Die zu den Beispielen herangezogene relativ kleine Belüftungsanlage ( $3300 \text{ m}^3/\text{h}$ ) kann bei einer Luftwechselzahl von 5 und einer Raumhöhe von z. B. 4 m einen Raum mit nur  $150 \text{ m}^3$  Fläche versorgen. Sinngemäß gelten jedoch diese Beispiele und die Energie- bzw. Betriebskosteneinsparungen durch strömungsgünstigere Bauweise natürlich auch für große Lüftungs- und Klimaanlagen.

Die Kosteneinsparungen werden bei größeren Anlagen entsprechend und folgerichtig dann auch größer.

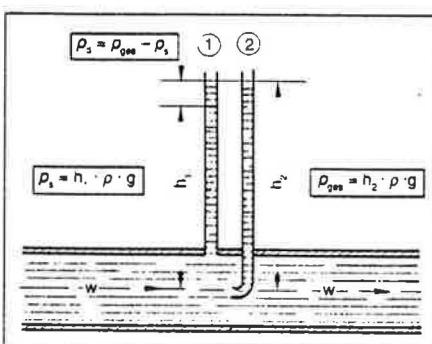


Bild 6: Darstellung des statischen, dynamischen und Gesamtdruckes beim Durchfluß einer Flüssigkeit (bzw. Luft) in einem Rohr

## 4 Strömungstechnik und Druckverteilung in Luftkanälen

Die Stoffeigenschaft der Luft, die bei der Lüftungs- und Klimatechnik das Fördermedium ist, wird hauptsächlich durch ihre Dichte  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) beschrieben. Die Dichte  $\rho$  ist nicht konstant, sondern veränderlich. Wie die nachfolgende Gleichung für Gase zeigt, ist sie abhängig vom Druck und Temperatur.

$$\rho = p/R \cdot T \quad \text{kg}/\text{m}^3$$

$p$  = absoluter Druck  $P(\text{N}/\text{m}^2)$

$T$  = absolute Temperatur

$R$  = Gaskonstante für Luft

$$= 287 \text{ Nm/Kg} \cdot \text{K} = 462 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

Damit ergibt sich für die Dichte der Luft bei  $0^\circ\text{C}$  und beim Luftdruck der Norm-Atmosphäre in Meereshöhe 1.01325 bar

$$= 760 \text{ mm Hg (Quecksilbersäure)} = 760 \text{ Torr}$$

$$\rho_0 = \frac{101325}{287 \cdot 273} = 1.293 \text{ kg}/\text{m}^3$$

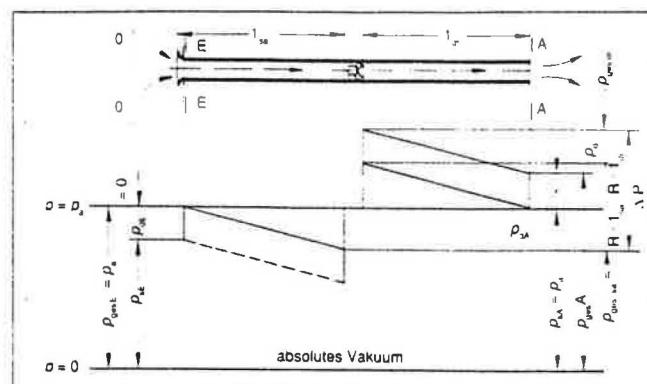


Bild 7: Druckverteilung in einem Lüftungskanal mit unveränderlichem Querschnitt

Die Abhängigkeit der Dichte vom Druck ist in der Lüftungs- und Klimatechnik wegen den geringen vorhandenen Druckdifferenzen so gering, daß man sie vernachlässigen kann (inkompressibles Medium).

Die Abhängigkeit der Dichte von der Temperatur muß berücksichtigt werden. Nach der Gasgleichung gilt bei gleichem Druck für verschiedene zwei Temperaturen

$$\rho_1/\rho_0 = T_0/T_1, \text{ vorher } \rho_1 = \rho_0 \cdot T_0/T_1$$

Anhand dieser Gleichung kann mit den Ausgangswerten  $T_0 = 273 \text{ K}$  ( $= 0^\circ\text{C}$ ) und  $\rho_0 = 1.293 \text{ kg}/\text{m}^3$ , die Dichte von trockener Luft bei beliebiger Temperatur  $t_x$  ( $^\circ\text{C}$ ) ausgerechnet werden.

$$\rho_{t_x} = 1.293 \cdot 273/(273 + t_x) \text{ kg}/\text{m}^3$$

Die Dichte von trockener Luft bei z.B.  $t_x = 30^\circ\text{C}$  beträgt dementsprechend,

$$\rho_{30} = 1.293 \cdot 273/(273 + 30) = 1.165 \text{ kg}/\text{m}^3$$

und bei  $t_x = 20^\circ\text{C}$

$$\rho_{20} = 1.20 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Die Dichte von feuchter Luft ist immer etwas kleiner, da feuchte Luft leichter als trockene ist. Dies ist auf den zusätzlichen Teildruck des Dampfes zurückzuführen.

In der Lüftungs- und Klimatechnik hat dies jedoch kein wesentlichen Einfluß und kann vernachlässigt werden.

### 4.1 Statischer und dynamischer Druck

Strömt durch ein Rohr ohne Höhenunterschied ein Fluid mit der Dichte  $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) und der Geschwindigkeit  $w$  ( $\text{m}/\text{s}$ ), so stellen sich an den Meßorten 1 und 2 (Bild 6) unterschiedliche Druckhöhen ein.

Die Druckhöhe  $h_1$  entspricht dem statischen Druck:  $p_s$ :

$$p_s = h_1 \cdot \rho \cdot g \quad [\text{Pa}]$$

#### Legende zu Bild 7:

$O-O$	= Querschnitt vor der Ansaugöffnung
$E-E$	= Querschnitt in der Lufteintrittsöffnung
$A-A$	= Querschnitt durch die Ausblasöffnung
$l_{sa}$	= Länge der Kanalstrecke auf der Saugseite des Ventilators [m]
$l_{dr}$	= Länge der Kanalstrecke auf der Druckseite des Ventilators [m]
$p_a$	= atmosphärischer Druck [Pa]
$p_{gesE}$	= Gesamtdruck im Querschnitt E-E [Pa]
$p_{gE}$	= statischer Druck im Querschnitt E-E [Pa]
$p_{dE}$	= dynamischer Druck im Querschnitt E-E [Pa]
$p_{sA}$	= statischer Druck im Querschnitt A-A [Pa]
$p_{da}$	= dynamischer Druck im Querschnitt A-A [Pa]
$p_{gesA}$	= Gesamtdruck im Querschnitt A-A [Pa]
$p_{ges_sa}$	= Gesamtdruck auf der Saugseite des Ventilators [Pa]
$p_{ges\_dr}$	= Gesamtdruck auf der Druckseite des Ventilators [Pa]
$R \cdot l_{sa}$	= Reibungsverlust der Kanalstrecke auf der Saugseite des Ventilators [Pa]
$R \cdot l_{dr}$	= Reibungsverlust der Kanalstrecke auf der Druckseite des Ventilators [Pa]
$p_d$	= dynamischer Druck auf der Druckseite des Ventilators [Pa]
$\Delta p_{ges}$	= Förderdruck des Ventilators [Pa]

Die Druckhöhe  $h_1$  entspricht dem Gesamtdruck

$$p_{ges} = h_1 \cdot \rho \cdot g \quad [\text{Pa}]$$

Die Differenz von  $p_{ges}$  und  $p_s$  ergibt den dynamischen Druck, der sich gemäß der Bernoullischen Gleichung wie folgt darstellt:

$$p_d = \rho \cdot w^2/2 \quad [\text{Pa}]$$

$p_s$  = statischer Druck (Druck auf die Wandung) [Pa]

$\rho$  = Dichte der Luft [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$  = Fallbeschleunigung ( $9.81$ ) [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$p_{ges}$  = Gesamtdruck [Pa]

$p_d$  = dynamischer Druck (Standdruck, Geschwindigkeitsdruck) [Pa]

$w$  = Luftgeschwindigkeit [ $\text{m}/\text{s}$ ]

In den betreffenden Grenzen des Luftdruckes in Lüftungsanlagen, kann die Luft als Fluid mit unveränderlicher Dichte  $\rho$  betrachtet werden. Deshalb ist es gegebenenfalls zulässig auch für die Luft die Bernoulli'sche Gleichung anzuwenden.

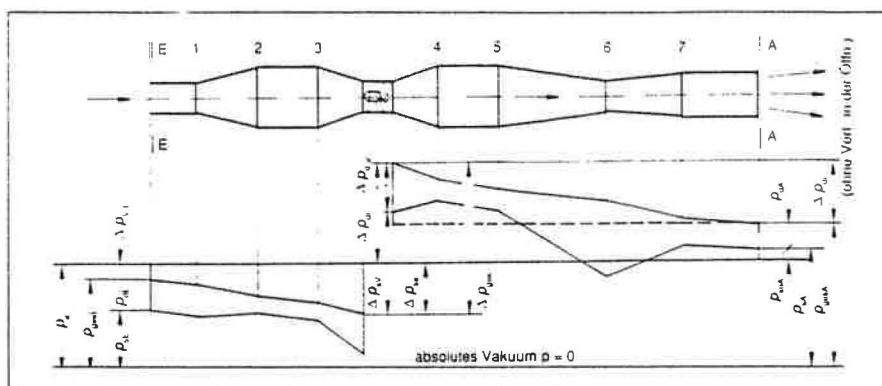


Bild 8: Druckverteilung im Lüftungskanal mit verschiedenen Querschnitten

Legende zu Bild 8:

E-E	= Querschnitt in der Lufteintrittsöffnung
A-A	= Querschnitt durch die Luftausblasöffnung
$p_a$	= atmosphärischer Druck [Pa]
$p_{ges,E}$	= Gesamtdruck in der Lufteintrittsöffnung [Pa]
$p_{s,E}$	= statischer Druck in der Lufteintrittsöffnung [Pa]
$p_{d,E}$	= dynamischer Druck in der Lufteintrittsöffnung [Pa]
$\Delta p_{VE}$	= Druckverlust in der Ansaugöffnung [Pa]
$\Delta p_{dr}$	= Gesamtdruckverlust auf der Druckseite des Ventilators [Pa]
$\Delta p_{s,V}$	= statischer Druck des Ventilators [Pa]
$\Delta p_{d,V}$	= dynamischer Druck des Ventilators [Pa]
$\Delta p_{sa}$	= Gesamtdruckverlust auf der Saugseite des Ventilators [Pa]
$\Delta p_{ges}$	= Gesamtförderhöhe des Ventilators [Pa]
$p_{s,A}$	= statischer Überdruck [Pa]
$p_{d,A}$	= dynamischer Druck in der Ausblasöffnung [Pa]
$p_{s,A}$	= statischer Druck in der Ausblasöffnung [Pa]
$p_{ges,A}$	= Gesamtdruck in der Ausblasöffnung [Pa]
$\Delta p_{dr}$	= Gesamtdruckverlust auf der Druckseite des Ventilators, ohne Verluste in der Ausblasöffnung [Pa]

Die Bernoulli'sche Gleichung verbindet die Zustandsgrößen der Luft (Geschwindigkeit, statischer Druck und geodätische Höhe) miteinander. Die Gleichung besagt, daß für jeden Punkt der Strömung die Summe aus Geschwindigkeits-, Druck- und Höhenenergie gleich ist. Dies gilt für eine stationäre Strömung; diese liegt vor, wenn die Zustandsgrößen an einem bestimmten Punkt zeitlich konstant sind.

$$\rho \cdot w^2/2 + p_s + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant} [\text{Pa}]$$

Bei Strömungen von Luft wird das durch die geodätische Höhe  $h$  beeinflussende Glied der Gleichung  $\rho \cdot g \cdot h$ , d. h. das Gewicht der Luftsäule, wegen Geringfügigkeit vernachlässigt.

Demzufolge wird:

$$\rho \cdot w^2/2 + p_s = p_{ges} = \text{konstant} [\text{Pa}]$$

Der Gesamtdruck an jeder Stelle der Strömung ist also gleich groß bzw. unveränderlich.

Daraus ist ersichtlich, daß der statische Druck im Ansaugstutzen kleiner als der atmosphärische Druck sein muß, da der dynamische Druck aufgrund der physikalischen Eigenschaften immer einen positiven Wert aufweist. Dieses Merkmal resultiert daraus, daß die kinetische Energie eines Gases bei dessen Aufprall auf ein Hindernis, sich immer auf einen positiven statischen Druck verändert.

Beim Subtrahieren von beiden Seiten der Gleichung (1) jeweils des Wertes  $p_a$  wird

$$p_{s,E} - p_s = -\rho \cdot W_E^2/2 \quad (2)$$

Die linke Seite der Gleichung (2) entspricht dem statischen Luftdruck gemessen im Verhältnis zum atmosphärischen Druck, also dem relativen statischen Druck  $p_{s,E}$ . Mit der Bezeichnung des dynamischen Druckes  $p_m$  ergibt sich

$$p_{s,E} = -p_m$$

Das Zeichen minus bei dem positiven Wert des dynamischen Druckes  $p_m$  zeigt, daß der relative statische Druck in der Lufteintrittsöffnung negativ ist, d. h. in der Ansaugöffnung herrscht ein statischer Unterdruck.

Der Gesamtdruck in der Lufteintrittsöffnung bei Zugrundelegung eines Eintrittsstutzens ohne Druckverluste beträgt wie aus der Gleichung (2) hervorgeht:

$$p_{s,E} + \rho \cdot W_E^2/2 = p_{ges,E} = p_a$$

Der Gesamtdruck ist also gleich dem atmosphärischen Druck.

Geht man weiter vom Lufteintrittsstutzen, entlang des Kanals, in Richtung der Luftströmung, so wird der Gesamtdruck immer kleiner, da ein Teil der Energie der Luft für die Überwindung der Reibungsverluste verbraucht wird. Unmittelbar vor dem Ventilator beträgt der gesamte Luftdruck:

$$p_{ges,sa} = p_a - R \cdot l_{sa}$$

$p_{ges,sa}$  = Gesamtluftdruck vor dem Ventilator (Bild 7) [Pa]

$p_a$  = atmosphärischer Druck [Pa]

$R$  = spezifischer Reibungsverlust [Pa/m]

$l_{sa}$  = Länge der Kanalstrecke auf der Saugseite des Ventilators (Bild 7) [m]

Aufgrund dessen, daß im gesamten Kanal die Luftgeschwindigkeit  $w$  gleich ist, ist der dynamische Druck im beliebigen Kanalquerschnitt ebenfalls gleich ( $p_m = \rho \cdot w^2/2$ ).

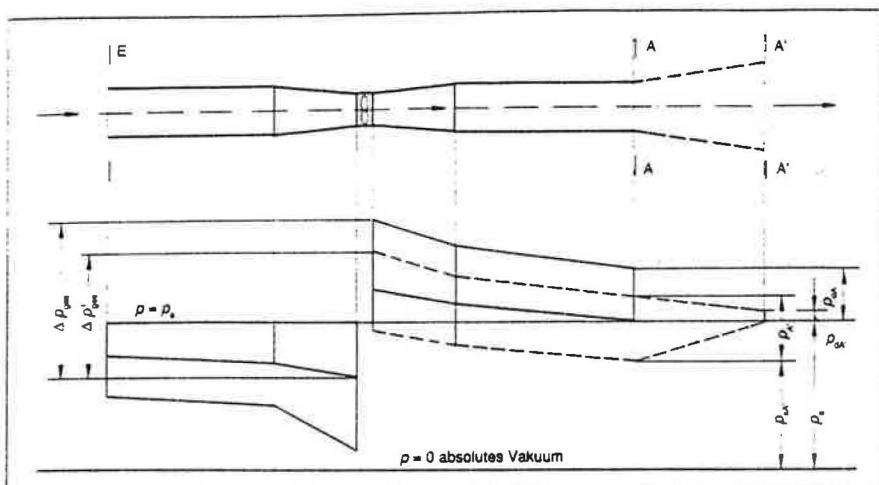


Bild 9: Einfluß der Anwendung eines Diffusors am Ende des Druckkanals auf die Druckverhältnisse der Anlage und auf die erforderliche Druckhöhe des Ventilators

Legende zu Bild 9 und 10:

E-E	= Querschnitt in der Lufteintrittsöffnung
A-A	= Querschnitt in der Luftausblasöffnung ohne Anwendung eines Diffusors [Pa]
A'-A'	= Querschnitt in der Luftausblasöffnung mit Anwendung eines Diffusors [Pa]
$\Delta p_{ges}$	= Gesamtförderhöhe des Ventilators beim Verzicht auf ein Diffusor in der Ausblasöffnung [Pa]
$\Delta p'_{ges}$	= Gesamtförderhöhe des Ventilators bei Anwendung eines Diffusors in der Ausblasöffnung [Pa]
$p_{sa}$	= statischer Druck in der Ausblasöffnung bei Anwendung eines Diffusors [Pa]
$p_{dA}$	= Druckverlust im Querschnitt A'-A' bei Anwendung eines Diffusors [Pa]
$p_a$	= atmosphärischer Druck [Pa]
$p_{da}$	= dynamischer Druck in der Ausblasöffnung bei Anwendung eines Diffusors [Pa]
$p_{dA}$	= dynamischer Druck in der Ausblasöffnung ohne Diffusor [Pa]

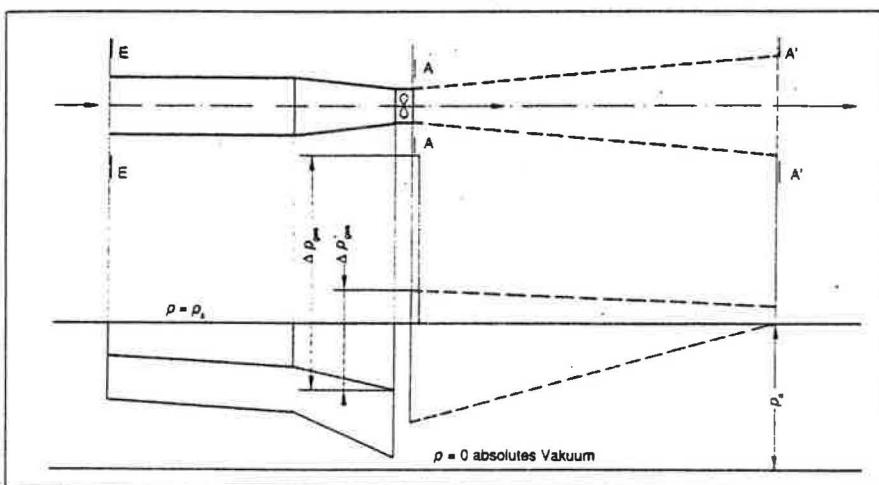


Bild 10: Einfluß der Anwendung eines Diffusors unmittelbar hinter dem Druckstutzen eines saugseitig arbeitenden Ventilators auf die Druckverhältnisse und erforderliche Förderhöhe des Ventilators

Für den Querschnitt unmittelbar vor dem Ventilator ist

$$p_{ges\ sa} = p_a - R \cdot l_{sa} = p_{s\ sa} + \rho \cdot W^2/2,$$

woraus

$$p_{s\ sa} = p_a - R \cdot l_{sa} - \rho \cdot W^2/2$$

$p_{s\ sa}$  = statischer Druck auf der Saugseite des Ventilators [Pa]

Auf dem Druckteil der Anlage (Bild 7) in der Ausblasöffnung ist, wie vorher erwähnt, der statische Druck gleich dem atmosphärischen Druck [Pa]. Aufgrund dessen beträgt der Gesamtdruck in der Ausblasöffnung

$$p_{ges\ A} = p_a + \rho \cdot W^2/2 = p_a + p_d$$

$p_{ges\ A}$  = Gesamtdruck in der Ausblasöffnung (Bild 6) [Pa]

In Richtung von der Ausblasöffnung zum Ventilator muß der Druck, gemäß der Bernoullischen Gleichung, linear ansteigen. Betrachtet man die Querschnitte unmittelbar hinter dem Ventilator und in der Ausblasöffnung, so ergibt sich

$$p_{ges\ dr} = p_{ges\ A} + R \cdot l_{dw} = p_a + p_d + R \cdot l_{dr}$$

$$p_{ges\ dr} = \text{Gesamtdruck auf der Druckseite des Ventilators [Pa]}$$

$$l_{dr} = \text{Länge der Kanalstrecke auf der Druckseite des Ventilators (Bild 7)}$$

Um eine bestimmte Menge umzuwälzen, muß der Ventilator der Luft folgende Energien übergeben:

- Energie zur Überwindung der Reibungsverluste auf der Saugseite und der Reibungsverluste auf der Druckseite, also  $R \cdot l_{sa} + R \cdot l_{dr}$
- Energie, die die Luft mit sich aus der Ausblasöffnung hinausträgt.

Diese Energien, die vom Ventilator in Form von Druck erzeugt werden, werden als Gesamtdruckerhöhung, Gesamtdruckdifferenz bzw. auch Förderdruck mit  $\Delta p_{ges}$  bezeichnet.

Dieser Druck ist gleich der Differenz des gesamten absoluten Druckes  $p_{ges\ dr}$  in der Drucköffnung und des gesamten absoluten Druckes  $p_{ges\ sa}$  in der Ansaugöffnung des Ventilators

$$\Delta p_{ges} = p_{ges\ dr} - p_{ges\ sa}$$

#### 4.3 Druckverteilung im Lüftungskanal mit Querschnittsveränderungen

Die nachfolgenden Betrachtungen der Druckverteilung in einem Lüftungskanal mit Querschnittsveränderungen, werden durch Bild 8 erläutert.

Ausgehend davon, daß der Lufteintritt in die Ansaugöffnung mit einem lokalen Einzelwiderstand verbunden ist, der ein Druckabfall  $\Delta p_{VE}$  verursacht, kann man anhand der Bernoullischen Gleichung für den Querschnitt in einer gewissen Entfernung vor der Ansaugöffnung (wo die Luftgeschwindigkeit = 0 ist) und für den Querschnitt E-E folgendes aufschreiben:

$$p_a = p_{sE} + p_{dE} + \Delta p_{VE} \text{ woher}$$

$$p_{sE} = p_a - \Delta p_{VE} - p_{dE}$$

Der Gesamtdruck beträgt:

$$p_{gesE} = p_{sE} + p_{dE} = p_a - \Delta p_{VE} - p_{dE} + p_{dE}$$

$$= p_a - \Delta p_{VE}$$

$p_{sE}$  = statischer Druck in der Ansaugöffnung [Pa]

$p_{dE}$  = dynamischer Druck in der Ansaugöffnung [Pa]



$$\Delta p_{vE} = \text{Druckverlust in der Ansaugöffnung [Pa]}$$

$$p_{gesE} = \text{Gesamtdruck in der Ansaugöffnung [Pa]}$$

Auf der Strecke E-1, die ein konstanten Querschnitt besitzt, verringert sich der Gesamtdruckverlust linear aufgrund der Reibungsverluste. Der dynamische Druck bleibt unverändert.

Infolgedessen verringert sich auch der statische Druck, als Differenz zwischen dem Gesamtdruck und dem dynamischen Druck.

Auf der Teilstrecke 1-2 der Kanalerweiterung wird der Gesamtdruck schneller abnehmen, da zu den Reibungsverlusten auch noch der Einzelwiderstand hinzukommt.

Im ersten Augenblick gewinnt man den Eindruck, daß sich auf der Teilstrecke 1-2 auch der statische Druck verringern muß. Es kann jedoch auch anders sein. Um diese Situation zu erläutern, ist es notwendig, die Bernoulli'sche Gleichung für die Querschnitte am Anfang und am Ende des Diffusors aufzustellen.

$$p_{s1} + p_{d1} = p_{s2} + p_{d2} + \Delta p_{vd} \text{ woher}$$

$$p_{s1} - p_{d2} = \Delta p_{vd} - (p_{d1} - p_{d2}) \quad (3)$$

$p_{s1}$  = statischer Druck am Anfang des Diffusors [Pa]

$p_{s2}$  = statischer Druck am Ende des Diffusors [Pa]

$p_{d1}$  = dynamischer Druck am Anfang des Diffusors [Pa]

$p_{d2}$  = dynamischer Druck am Ende des Diffusors [Pa]

$\Delta p_{vd}$  = Druckverlust im Diffusor [Pa]

Wenn die Luftgeschwindigkeit im Diffusor sich derart verringert, daß  $(p_{d1} - p_{d2}) > \Delta p_{vd}$  ist, was beim kleinen Windkesselraum und glatten Innenwänden des Diffusors passieren kann, so wird die linke Seite der Gleichung (3) den Minuswert annehmen.

Dies bedeutet, daß  $p_{s2} > p_{s1}$  ist.

Die Differenz  $p_{d1} - p_{d2}$  ist der sog. befreite dynamische Druck.

Bild 8 zeigt, daß sich im Diffusor 1-2 ein Teil des dynamischen Druckes befreit hat, wodurch, trotz der Druckverluste im Diffusor, der statische Druck auf dieser Strecke gewachsen ist.

Es ist zu beachten, daß die Linie der Gesamtdruckwerte  $p_{ges}$  in Richtung der Luftströmung gesehen, ständig fallen muß, aufgrund des ständigen Druckverlustes zur Überwindung der Widerstände. Der Gesamtdruck-Abfall (Verlust) im Saugkanal ist in Bild 8 mit  $\Delta p_{sa}$  bezeichnet. Diese Darstellung verdeutlicht eine ständige Transformation des stati-

schen Druckes in den dynamischen Druck und umgekehrt. Der in dem Diffusor frei werdende dynamische Druck verursacht einen Anstieg des statischen Druckes, der Anstieg der Geschwindigkeit in den Konfusoren findet auf Kosten des statischen Druckes statt. Im Konfusor 5-6 fällt der statische Druck sogar unter den atmosphärischen Druck. Der Ventilator muß, wie auch im vorherigen Beispiel, der Luft eine Energie abgeben, die die Luft beim Verlassen der Ausblasöffnung mit sich fortnimmt, das ist  $p_{da} = \rho \cdot W^2/2$

Am Ausblas des Druckkanals ist der Gesamtdruck  $p_{gesA}$  die Summe des statischen Druckes  $p_{sa}$  und des dynamischen Druckes  $p_{da}$ . Der statische Druck  $p_{sa}$  ist größer als der atmosphärische Druck  $p_A$ . Die Differenz  $p_{sa} - p_A$ , also der statische Überdruck  $p_{suA}$  dient zur Überwindung des tatsächlichen Widerstandes in der Ausblasöffnung in Form eines Gitters, Jalousie oder ähnlichen.

Verfolgt man die Druckverhältnisse im Lüftungskanal (Bild 8) vom Querschnitt in Richtung nach links zum Ventilator, so ist zu erkennen, daß der Gesamtdruck sich um den Druck der zur Überwindung der Reibungsverluste und der Einzelwiderstände benötigt wird, vergrößert. Der dynamische Druck stabilisiert sich in jedem Querschnitt, in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit in diesem Querschnitt.

Aufgrund dessen, daß die Widerstandsbeiwerte an der Ausblasöffnung die verlorene kinetische Energie berücksichtigen, reicht es, zur Berechnung des Förderdruckes des Ventilators  $\Delta p_{ges}$ , die Druckverluste auf der Saug- und Druckseite des Ventilators aufzudienen

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_{sa} + \Delta p_{dr}$$

Der Gesamtdruck des Ventilators gliedert sich auf den statistischen und dynamischen Druck. Der dynamische Druck des Ventilators ist der dynamische Druck im Druckstutzen. Die Differenz des Gesamtdruckes und des dynamischen ergibt den statischen Druck des Ventilators  $\Delta p_{sv}$ .

Aus Bild 8 folgt, daß  $p_{d1} > p_{da}$ .

Dies bedeutet, daß ein Teil des dynamischen Ventilatordruckes, gegebenenfalls im Druckkanal, in statischen Druck umgewandelt und zur Überwindung der Strömungsverluste ausgenutzt wurde. Zur Verringerung der Druckverluste auf der Druckseite des Ventilators kann an der Ausblasöffnung ein Diffusor angewendet werden.

#### 4.4 Die Bedeutung eines Diffusors am Ende des Druckkanals

Beim Nichtvorhandensein eines Diffusors am Ende der Druckleitung (Bild 9, Querschnitt A-A) ist der Druckverlust durch die verlorene kinetische Energie am Ausblas gleich  $p_{da}$ .  $\Delta p_{ges}$  entspricht dem Gesamtdruck des Ventilators, der beim Nichtvorhandensein eines Diffusors und bei einer bestimmten Luftmenge erforderlich wird, um die Druckverluste zu überwinden. Wenn an das Ende des Druckkanals ein Diffusor mit nicht zu großem Raumwinkel angebracht wird (Bild 9, gestrichelte Darstellung A-A-A'-A'), wird die Ausblasgeschwindigkeit geringer, daher auch gleichsam der Verlust der Ausblasenergie reduziert wird und zwar auf  $p_{da'}$ .

Aus der Bernoulli'schen Gleichung für die Endquerschnitte des Diffusors

$$p_a + p_{da} = p_{sa} + p_{a'} - \Delta p_{v'}$$

geht hervor, daß

$$p_{sa'} = p_a - (p_{a'} - p_{da'} - \Delta p_{v'})$$

$p_{da'}$  = Druckverlust am Ausblas bei Anwendung eines Diffusors [Pa]

$p_{sa'}$  = statischer Druck bei Anwendung eines Diffusors [Pa]

$p_{a'}$  = Druckverlust im Querschnitt A' bei Anwendung eines Diffusors [Pa]

$\Delta p_{v'}$  = Druckverlust im Diffusor [Pa]

Die Druckverteilung im Kanal mit einem Diffusor ist in Bild 9 mit der gestrichelten Linie verdeutlicht. Man sieht, daß bei Anwendung eines Diffusors der erforderliche Gesamtdruck  $\Delta p_{ges}$  kleiner ist (vgl. Einzelwiderstände aus Bild 3, Pos. 6 und 12). Bei kleinen Druckverlusten im Diffusor ( $\Delta p_{v'}$ ) und großer Differenz der dynamischen Drücke, wird der statische bedingte Druck  $(p_{sa'} - p_a)$  negativ, was aus dem Diagramm (Bild 9) deutlich hervorgeht. Ein insbesonderer großer Druckverlust am Ausblas entsteht in dem Fall, wenn der Ventilator saugseitig am Ende eines Kanals arbeitet und die Luft direkt ins Freie bläst. Die Anwendung eines Ausblasdiffusors wird gegebenenfalls die Druckverluste deutlich verringern (Bild 10). Die vorgebrachten Ausführungen zeigen, daß mit der Anwendung nur eines Diffusors eine große Menge von Energie und Betriebskosten bei Berücksichtigung der vielen Jahre der Nutzungsdauer der Anlage eingespart werden kann. Dies gilt sinngemäß auch für die noch vielen anderen vorhandenen Verbesserungsmöglichkeiten der Strömungstechnik in RLT-Anlagen.