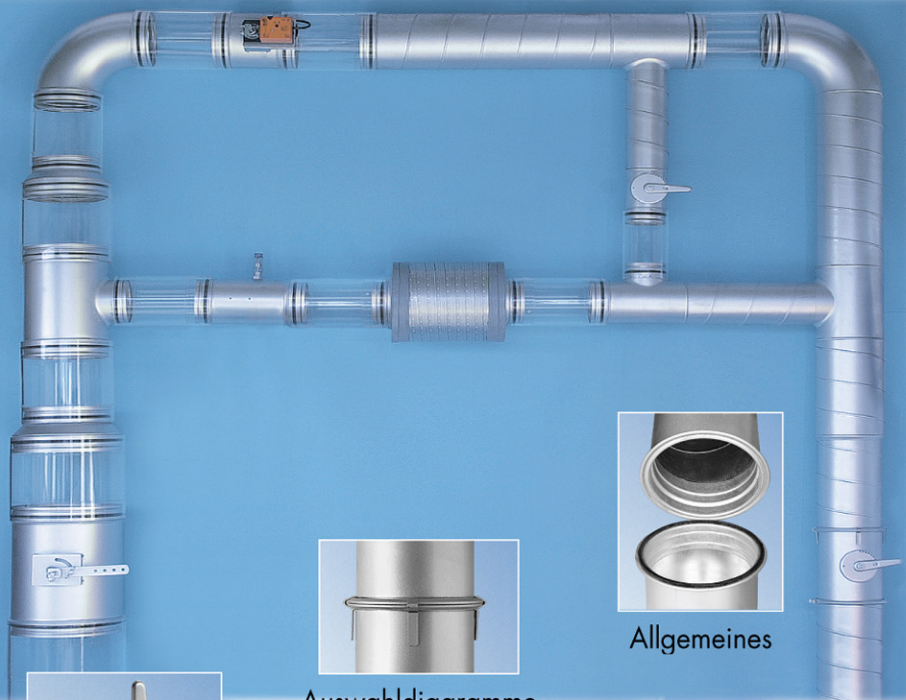


Leitfaden

**AS AEROTECHNIK
SIEGWART**

zur Auslegung von
lufttechnischen Anlagen



Allgemeines



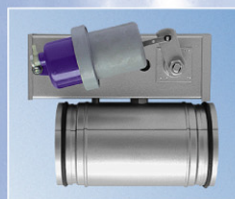
Auswahldiagramme



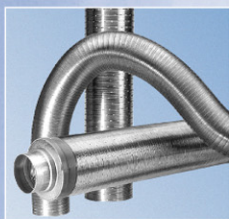
Montagevorteile



Druck und Strömung



Auswahlkriterien



Berechnungsbeispiele

Aerotechnik E. Siegwart GmbH
Untere Hofwiesen • 66299 Friedrichsthal
Tel.: 0 68 97 / 85 90
Fax: 0 68 97 / 85 91 50
Internet: <http://www.aerotechnik.de>
E-Mail: Vertrieb@aerotechnik.de





Herausgeber: Aerotechnik E. Siegart, Untere Hofwiesen, 66299 Friedrichsthal
Redaktion: Emil Siegart, Heinz Trautmann
Gestaltung, Layout und Produktion: PINKDESIGN Saarbrücken

Inhaltsverzeichnis

Allgemeines		
Vorbemerkung	Seite	4
Allgemein	Seite	6
Auswahlkriterien		
Auswahlkriterien	Seite	7
Außenluft	Seite	7
Luftwechselzahl	Seite	8
Volumenstrom	Seite	9
Luftgeschwindigkeit	Seite	9
Leitungsquerschnitt	Seite	10
Rohrleitung, rund	Seite	10
Kanalleitung, rechteckig	Seite	11
Rund oder rechteckig ?	Seite	12
Druckdifferenz	Seite	12
Druckverlustberechnung	Seite	13
Ventilator, Auswahl	Seite	15
Ventilator, Antriebsleistung	Seite	15
Lufterhitzerleistung	Seite	17
Luftkühlerleistung	Seite	17
Luftbefeuchterleistung	Seite	17
Wärmerückgewinn	Seite	18
Leitungsisolierung	Seite	18
Akustische Anforderungen	Seite	20
Dichtheit von Leitungssystemen	Seite	21
Inspektionsmöglichkeiten	Seite	22
Luftverteilung und Messung	Seite	22
Einsatz von Volumenstromregler	Seite	24
Industrieanlagen	Seite	25
Berechnungsbeispiele		
Be- und Entlüftungsanlage	Seite	25
Luftheizungsanlage	Seite	26
Teilklimaanlage	Seite	28
Klimaanlage	Seite	31
Be- und Entlüftungsanlage für Küchen	Seite	33
Auswahldiagramme		
Schnellbestimmung von Durchm., Widerstandsbeiwert, Einzelwiderstand	Seite	35
Tabellenaufstellung Formstücke	Seite	35



Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzhohre	Seite	36
Diagrammbeschreibung "Wickelfalzhohre"	Seite	37
Rohrreibungsdiagramm Flexhohre	Seite	38
Diagrammbeschreibung " Flexhohre"	Seite	39
Diagramm Bogen B1	Seite	40
Diagrammbeschreibung "Bogen B1"	Seite	40
Diagramm Verteiler V1	Seite	40
Diagrammbeschreibung "Verteiler V1"	Seite	41
Diagramm Verteiler V2	Seite	41
Diagrammbeschreibung "Verteiler V2"	Seite	41
Diagramm T-Abzweig T1	Seite	42
Diagrammbeschreibung "T-Abzweig T1"	Seite	42
Diagramm T-Abzweig T2	Seite	43
Diagrammbeschreibung "T-Abzweig T2"	Seite	43
Diagramm Erweiterung E1	Seite	44
Diagrammbeschreibung "Erweiterung E1"	Seite	44
Diagramm Dynamischer Druck D1	Seite	45
Diagrammbeschreibung "Dynamischer Druck D1"	Seite	45
Diagramm Dichtheitsklassen f#r Leitungen	Seite	46
Diagrammbeschreibung "Dichtheitsklassen"	Seite	46
Druck und Str#mung		
Widerstandsbeiwert (Zeta)	Seite	47
Dynamischer Druck	Seite	47
Druckverlust an Einbauten	Seite	48
Sto#verlust	Seite	48
Diagramm Sto#verlust	Seite	49
Einstr#msituation 1	Seite	49
Einstr#msituation 2	Seite	50
Einstr#msituation 3	Seite	50
Str#mungsprofile	Seite	51
Me#einbauten		
Me#blende	Seite	51
Me#d#se	Seite	52
Venturirohr	Seite	52
Montagevorteile		
Anschlu#herstellung auf der Baustelle	Seite	53
Anschlu#situationen	Seite	54
Qualit#tsbeschreibung Rollgummidichtung	Seite	55
Anhang		
Beispiel 1 A	Seite	57
Beispiel 1 B	Seite	58
Liste der Begriffe und Dimensionen	Seite	59

Allgemeines

Vorbemerkung

Viel zu oft wird bei der Erstellung einer lufttechnischen Anlage aus Zeitgründen auf eine verlässliche Berechnung verzichtet. Im Angebotsfall stehen die Unterlagen aus Handbüchern oder andere Arbeitsunterlagen nicht zur Verfügung. Eine Vielzahl von nationalen und europäischen Vorschriften und Normen führen zu Unsicherheiten bei der Auslegung und Berechnung einer lufttechnischen Anlage. Aus diesem Umfeld entstehen Lösungen, die der Aufgabenstellung nicht genügen, oder zu überdimensionierten Anlagen. Dem Anlagenbauer entstehen in dem einen oder dem anderen Fall Kosten die auf die Dauer zum Ruin führen. Wir haben uns mit dieser Ausarbeitung die Mühe gemacht dem Anlagenbauer Unterlagen zur Hand zu geben, die in ihrer Darstellung und Übersichtlichkeit das Arbeiten sehr erleichtern. Insbesondere wurde auf praxisbezogene Gegebenheiten Wert gelegt, die in Lehrbüchern und Schriften meist zu kurz kommt. Die Verfasser sind aus der Praxis kommende Personen, die in mehr als dreißigjähriger Berufserfahrung Klein- und Großanlagen erstellt haben, die heute noch als mustergültig angesehen werden können.

Die Entwicklung der lufttechnischen Branche hat zu einer Vielzahl von neuen Produkten geführt, die heute Standard sind und ein wesentlicher Beitrag zu dem heutigen Leistungsstandard beitrugen. Eine Vielzahl von Messungen auf einschlägigen Prüfständen hat es ermöglicht insbesondere bei runden Rohren Druckverluste neu zu definieren und so darzustellen, daß ein einheitlicher Widerstandsbeiwert wie dies bisher bei Formstücken bekannt üblich ist. Die Einordnung und Auswertung all dieser Meßwerte ist für die Berechnung eines Leitungssystems mit hinreichender Genauigkeit in den einzelnen Diagrammen festgehalten. An durchgerechneten Fallbeispielen konnte nachgewiesen werden, daß bestehende theoretische Einflüsse im Regelfall durch anderen Einfluß und Rechengrößen konkretisiert werden. Ein treffendes Beispiel hierfür sind z.B. fast alle Druckverlustdiagramme für Rohrleitungen in den verschiedenen Hand- und Lehrbüchern, die bis zu 20 % unterschiedliche Werte ausweisen. Allein diese Differenz würde mit ihrem überwiegenden Anteil aus der Leitungslänge Abweichungen ergeben, die weit über die Größenordnung einzelner gerundeter Werte liegen. Es ist nicht Absicht mit der Präsentation dieser Arbeitsunterlagen ein neues Handbuch zu erstellen, das bestehende Hand- und Lehrbücher korrigieren oder ersetzen soll. Das Zusammentragen aller notwendigen Einflußgrößen für die Erstellung von lufttechnischen Anlagen ist der dominierende Inhalt dieses technischen "Leitfadens".

Die eingebauten Schaubilder sollen mit ihrer Kommentierung Anregung geben bei der Realisierung von lufttechnischen Anlagen.

Dem Unternehmer sind durch viele Hinweise Beurteilungskriterien an Hand gegeben, die positive wirtschaftliche Erfolge sichern. Es wird in der Branche allzuoft auf Trends gesetzt ähnlich dem Geschäftsalltag in der Modeindustrie. Ein guter Einkauf innerhalb eines Betriebes verdient nur dann seine gute Benotung, wenn alle Teilabschnitte der zu erstellenden Anlage terminlich reibungslos durch Anwendung neuester Montagetechniken mit qualitätsgesicherten Komponenten erfolgt ist. Eine so erstellte Anlage hat bei der planenden Stelle als auch bei dem Kunden keine Schwierigkeiten bei der Abnahme, sie ist in jedem Fall eine Referenzanlage. Unstreitig ist bei fast allen Anlagen die "Montage". Sehr oft ist ein verbindlicher Montageplan nicht vorhanden, sei es, daß bauliche

Änderungen vorgenommen wurden, der Bauherr Änderungen wünscht oder die Anlage aus dem Handgelenk erstellt wird. Im Wesentlichen ist jedoch der Einsatz der Monteure, die diese Voraussetzungen schaffen, daß eine Baustelle gewinnbringend abgeschlossen wird. Nicht immer sind neue auf den Markt kommende Komponenten wirtschaftlich und zeiteinsparend. Als typisches Bauelement hierfür kann das flexible Stauchrohr gelten, das beim Einsatz auf größeren Baustellen wesentlich größere Verlegelängen benötigt, sei daß es nicht voll oder nur teilweise ausgezogen wird, darüber hinaus an den Verbindungsstellen sich nicht mit der erforderlichen Dichtigkeit verlegen läßt. Für die Verlegefähigkeit sind immer 2 Personen notwendig, die das gestauchte Rohr ausziehen müssen, kaum ist es möglich die übrigbleibenden Restlängen in die Leitungsstränge einzubauen. Zu viel Spielraum wird dem Baustellenpersonal überlassen was sich sicherlich kosteneinsparend vermeiden läßt. Gerade flexible Leitungen sind wegen ihrer geringen Quersteifigkeit schwingungsinstabil, sie benötigen wesentlich mehr Aufhängungen was zusätzlichen Montageaufwand bedeutet. Periodisch sich einstellende Schwingungen können einen akustischen Störpegel aufbauen, der durch zusätzlichen Schalldämpfereinbau beseitigt werden muß. Wenn schon keine glatte Oberfläche am Flexrohr vorhanden ist, sollte man aus Gründen einer Qualitätssicherung von entsprechenden Lösungen die es auf dem Markt gibt Gebrauch machen.

Den Fragen des Energieverlustes muß mitentscheidende Bedeutung zukommen. Kleine kostengünstig einzusetzende baustellengeeigneten Rohrwickelmaschinen lösen im Wesentlichen die Nachteile für den Handwerksbetrieb der sich mit der Installation kleiner Anlagen befaßt, ist das Stretchrohr eine brauchbare Alternative. Zu Kanal- und Rohrleitungssystemen, die ein wesentlicher Bestandteil einer Lüftungsanlage sind, sollen einige Bemerkungen gemacht werden. Die Verfasser des Leitfadens haben auf dem westeuropäischen Markt wesentlichen Anteil an herstellungstechnischen Maschinenanlagen, sowie deren Planung und Montage in Groß- und normalen Anlagen, sodas viele Anregungen fertigungs-, montage- sowie kostengünstiger Art gegeben werden können. Es soll dabei nicht unterschieden werden zwischen Industrie- und Humanlüftungsanlagen. Durch die Neuordnung der einschlägigen EU-Normen sind nationale Richtlinien zum Teil überholt. Dieser Leitfaden behandelt jedoch im Wesentlichen praxisbezogene gültige Unterlagen die Hinweis für die Installation von lufttechnischen Anlagen von Nutzen sind.

Bei der Planung einer lufttechnischen Anlage ist zunächst die Entscheidung zu treffen, ob das Leitungssystem in runder oder rechteckiger Form ausgeführt wird. Entscheidenden Einfluß hat sicherlich die architektonische Planung, wobei Teilsegmente in runder Ausführung interessant sein können, da sie anlagenmäßig als auch energiemäßig immer Vorteile bringen. Das Verteilsystem für Zu- und Abluft in runder Ausführung hat mit seinen integrierten Komponenten wie Volumenregler, Schalldämpfer, Drossel- und Absperrklappen und Feuerschutzeinrichtungen meist gleiche geometrische Form.

Allgemein

Raumlufttechnische Anlagen dienen in erster Linie dazu, die sich in dem Gebäude aufhaltenden Personen mit der erforderlichen Außenluft zu versorgen. Darüber hinaus können die durch die raumlufttechnische Anlage versorgten Räume durch diese beheizt, gekühlt oder klimatisiert werden. Bei allen unterschiedlichen Anwendungsfällen wird die den Räumen zugeführte Luft gereinigt (gefiltert). Je nach den Erfordernissen und dem gewünschten Komfort unterscheidet man zwischen:

- Be- und Entlüftungsanlagen
- Luftheizungsanlagen
- Teilklimaanlagen
- Klimaanlagen
- Hygieneanlagen
- Industrieanlagen

Die verschiedenen Anlagearten haben im einzelnen folgende Aufgaben:

Be- und Entlüftungsanlagen

Die Be- und Entlüftungsanlage dient ausschließlich zur Versorgung der angeschlossenen Räume mit der erforderlichen Außenluft. Während der Heizperiode werden die Räume durch statische Heizflächen beheizt. Dabei wird die den Räumen zugeführte Luft, um Zugerscheinungen zu vermeiden auf die Raumtemperatur aufgeheizt.

Luftheizungsanlagen

Die Luftheizungsanlage dient sowohl der Versorgung der angeschlossenen Räume mit der erforderlichen Außenluft als auch der Beheizung (auch teilweise) während der Heizperiode. Die Temperatur wird dabei durch die Lüftungsanlage auf den gewünschten Wert geregelt. Bei teilweiser Beheizung werden die Räume durch statische Heizflächen auf eine Grundtemperatur aufgeheizt.

Teilklimaanlagen

Die Teilklimaanlage dient sowohl der Versorgung der angeschlossenen Räume mit der erforderlichen Außenluft sowie der Beheizung während der Heizperiode und der Kühlung während der Kühlperiode. Die Wärmetauscher (Heizen - Kühlen) werden dabei von der mittleren Raumtemperatur beeinflusst.

Klimaanlagen

Die Klimaanlage dient sowohl der Versorgung der angeschlossenen Räume mit der erforderlichen Außenluft sowie der Beheizung während der Heizperiode, der Kühlung während der Kühlperiode und der Einhaltung der gewünschten relativen Luftfeuchtigkeit. Die Wärmetauscher (Heizen - Kühlen) werden dabei von der mittleren Raumtemperatur beeinflusst. Der Luftbefeuchter und der Lufttrockner (Kühler) wird dabei von der mittleren relativen Luftfeuchtigkeit beeinflusst.

Hygieneanlagen

Hygieneanlagen werden vorwiegend in Krankenanstalten eingesetzt. Bei diesen Anlagen werden besondere Anforderungen an die Filterung der Zuluft, sowie an die Reinigungsmöglichkeit der verschiedenen Anlagenkomponenten gestellt.

Industrieanlagen

Industrieanlagen sind z.B. Absauganlagen verschiedener Art wie Späneabsaugungen, Schweißstellenabsaugungen und dergleichen. Sie dienen vornehmlich dem Schutz der sich im Bereich der Produktions- und Verarbeitungsmaschinen aufhaltenden Personen vor schädlichen Einflüssen.

Auswahlkriterien

Auswahlkriterien für lufttechnische Anlagen

Für die Auslegung der Raumluftechnischen Anlagen sind folgende Hauptkriterien maßgebend:

- Außenlufrate in m^3/h
- Luftwechselzahl in Anzahl pro Stunde
- Volumenstrom in m^3/h
- Luftgeschwindigkeit in m/s
- Leitungsquerschnitt in m^2
- Leitungsdimensionen rund in mm Durchmesser
- Leitungsdimensionen rechteckig in mm Breite x mm Höhe
- Gesamtdruckdifferenz in Pa
- Gesamtdruckdifferenz in mm WS
- Lufterhitzerleistung in kW
- Lufterhitzerleistung in kcal/h
- Kühlerleistung in kW
- Kühlerleistung in kcal/h
- Befeuchterleistung in g Wasser pro kg Luft
- Isolierung des Leitungssystems
- Luftfilterung in Filterklassen
- Akustische Anforderungen
- Dichtheit des Leitungssystems
- Luftverteilung innerhalb der Anlage
- Anforderung an Industrieanlagen

Ermittlung der Außenlufrate

Die Außenlufrate wird bestimmt durch die Anzahl der in den zu versorgenden Räumen sich aufhaltenden Personen sowie der Außenlufrate pro Person gemäß den gültigen Vorschriften.



Empfohlene Außenluftraten pro Person sind z.B. für:

Großraumbüros	50 m ³ /h
Gaststätten	40 m ³ /h
Einzelbüros, Konferenzräume, Hörsäle	30 m ³ /h
Theater, Säle, Hallen	20 m ³ /h

Wenn mit einer zusätzlichen Geruchsbelästigung zu rechnen ist, sind vorstehende Werte um ca. 20 bis 50 % zu erhöhen.

Durch die ausgeatmete Luft der sich in einem geschlossenen Raum aufhaltenden Personen erhöht sich der CO₂-Gehalt der Raumluft. Von schlechter Luft kann bei Werten über 1500 ppm CO₂ ausgegangen werden. Negative Auswirkungen sind aber erst bei einem CO₂-Gehalt von mehr als 2500 ppm zu erwarten. Der CO₂-Gehalt in der Außenluft beträgt unter normalen Bedingungen ca. 300 ppm. Pro Person kann man bei leichter sitzender Tätigkeit mit einem Volumen an ausgeatmetem CO₂ von 18 Liter/Stunde rechnen. In einem Raum ohne Außenluftzufuhr verschlechtert sich dabei die Luftqualität bezüglich des CO₂-Gehaltes kontinuierlich. Der Anteil des Sauerstoffes ändert sich dabei nicht. Der Sauerstoffanteil der Luft beträgt ca. 21 %.

Durch die Zufuhr von Außenluft wird das Ansteigen des CO₂-Gehaltes begrenzt. Bezogen auf die Atemluft (CO₂) der sich in einem Raum aufhaltenden Personen kann mit einem stündlichen Bedarf an Außenluft von 25 m³/h pro Person gerechnet werden. Wenn mit zusätzlicher Luftverschlechterung wie z.B. durch Tabakrauch oder produktionsbedingte Einflüsse gerechnet werden muß, ist der Außenluftanteil pro Person um bis zu 100 % zu erhöhen. Ebenso ist bei einem relativ großen Raumvolumen und zeitlich begrenzter Nutzung (z.B. Theater) ein relativ großer Puffer als unbelastetes Luftvolumen vorhanden. Bedingt dadurch erfolgt die Luftverschlechterung langsam und es kann mit einem geringeren Außenluftanteil pro Person gerechnet werden.

Ermittlung der Luftwechselzahl

Unter der Luftwechselzahl versteht man, wie oft in der Stunde das Raumvolumen durch den Zuluftvolumenstrom erneuert wird. Für die Festlegung der Luftwechselzahl ist die Art der Raumnutzung zuständig.

Empfohlene Luftwechselzahlen sind:

Büroräume	3 bis 6 fach pro Stunde
Gasträume, Versammlungsräume	5 bis 10 fach pro Stunde
Hörsäle	8 bis 10 fach pro Stunde
Kaufhäuser	4 bis 6 fach pro Stunde
Kinos, Theater	4 bis 6 fach pro Stunde
Schwimmballen	3 bis 4 fach pro Stunde
Toiletten	4 bis 6 fach pro Stunde
Laboratorien	8 bis 15 fach pro Stunde
Küchen	20 bis 30 fach pro Stunde

Unabhängig von der Luftwechselzahl ist dafür Sorge zu tragen, daß in den betroffenen Räumen das gesamte Raumvolumen erfaßt wird.

Ermittlung des Volumenstromes

Bei einer Be- und Entlüftungsanlage ist der Volumenstrom gleich der Außenlufrate.

$$\text{Volumenstrom} = \text{Personenzahl} \times \text{Außenlufrate pro Person}$$

Bei einer Lüftheizungsanlage ist der Volumenstrom von der für die Raumnutzung vorgesehenen Luftwechselzahl abhängig. Mitentscheidend ist dabei noch die sich durch die Heizleistung einstellende Temperaturdifferenz zwischen Zulufttemperatur und Raumtemperatur.

$$\text{Volumenstrom} = \text{Raumvolumen} \times \text{Luftwechselzahl}$$

Bei einer Klimaanlage ist der Volumenstrom von der für die Raumnutzung vorgesehenen Luftwechselzahl abhängig. Mitentscheidend ist dabei noch die sich durch die Heiz- und Kühlleistung einstellende Temperaturdifferenz zwischen Zulufttemperatur und Raumtemperatur. Aufgrund der begrenzten Temperaturdifferenz während der Kühlperiode sind unterschiedliche Volumenströme zwischen Heiz- und Kühlbetrieb angebracht.

Ermittlung der Luftgeschwindigkeit

Durch den quadratischen Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf die Druckdifferenz (Widerstand) kann die Luftgeschwindigkeit nicht beliebig gewählt werden. Die Druckdifferenz ist mit entscheidend für die Antriebsleistung des Ventilators und damit über den Energieverbrauch auch auf die laufenden Betriebskosten. Außerdem ist zu beachten, daß die Wahl der Luftgeschwindigkeit einen erheblichen Einfluß auf die Leitungsdimensionen hat und damit die Installationskosten beeinflusst.

$$\text{geringere Luftgeschwindigkeit} = \text{geringere Betriebskosten} = \text{höhere Installationskosten}$$

$$\text{höhere Luftgeschwindigkeit} = \text{höhere Betriebskosten} = \text{geringere Installationskosten}$$

Die Luftgeschwindigkeit hat ebenfalls einen Einfluß auf die Akustik.

$$\text{geringere Luftgeschwindigkeit} = \text{geringeres Strömungsgeräusch}$$

$$\text{höhere Luftgeschwindigkeit} = \text{höheres Strömungsgeräusch}$$

Als für alle normale Belange günstige mittlere Luftgeschwindigkeit ist ein Wert von ca. 6 m/s angebracht. Für Sonderfälle sind bei der Festlegung der Luftgeschwindigkeit spezielle Kriterien zu berücksichtigen. Bei Studioanlagen zum Beispiel wird aufgrund der besonders hohen akustischen Anforderungen mit kleinen Luftgeschwindigkeiten gerechnet. Bei Absaugeanlagen zum Beispiel wird wegen der Gefahr der Ablagerung als auch wegen der notwendigen Saugwirkung mit höheren Luftgeschwindigkeiten (> 10 m/s) gerechnet.



Beispiel: Gegeben: Kanalquerschnitt 0,130 m²
 Kanalhöhe 200 mm
 Kanalbreite 650 mm
 (rechteckige Abmessungen)

$$\text{gleichw. Durchm.} = \frac{2 \times 200 \times 650}{200 + 650} = 306 \text{ (mm)}$$

Bezogen auf die vorstehenden beiden Beispiele unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer vergleichbaren runden Rohrleitung ergeben sich bei einer Luftgeschwindigkeit von 6,0 m/s und einer Leitungslänge von 20 m folgende Druckdifferenzen:

Rohr 400 mm Durchm.	Zeta = 0,041	P-dyn = 22,5 Pa	Druckdifferenz = 18,45 Pa
Kanal 360 x 360 mm	Zeta = 0,046	P-dyn = 22,5 Pa	Druckdifferenz = 20,70 Pa
Kanal 200 x 650 mm	Zeta = 0,058	P-dyn = 22,5 Pa	Druckdifferenz = 26,10 Pa

Vorstehende Differenzen beeinflussen die laufenden Betriebskosten

Entscheidung rund oder rechteckig

Bei der Planung einer lufttechnischen Anlage stellt sich die entscheidende Frage, ob das Leitungssystem als runde Rohrleitung oder als rechteckige Kanalleitung auszuführen ist. Abgesehen von baulichen Gegebenheiten die den Einbau einer runden Rohrleitung nicht ermöglichen ist deren Einsatz immer vorteilhaft. Durch die maschinelle Herstellung sowohl der Rohre als auch der Form- und Verbindungsteile sind die Materialkosten wesentlich geringer als bei einer vergleichbaren rechteckigen Kanalleitung. Auch bei der Montage bietet die runde Rohrleitung durch die einfachere Verbindungen als auch durch die geringere Anzahl von erforderlichen Befestigungen Vorteile gegenüber der rechteckigen Kanalleitung. Da die Montage einer lufttechnischen Anlage bekanntermaßen sehr lohnintensiv ist, muß diesem Umstand besondere Beachtung geschenkt werden. Ein weiterer entscheidender Vorteil der runden Rohrleitung ist der geringere Druckverlust gegenüber einer rechteckigen Kanalleitung. Dieser Vorteil kommt dem Betreiber zugute, da er die laufenden Betriebskosten positiv beeinflusst. Auch die Kosten für eine äußere Isolation sprechen aufgrund der kleineren Oberfläche (geringere Temperaturverluste) für eine runde Rohrleitung.

Ermittlung der Druckdifferenz

Zur Ermittlung der Gesamtdruckdifferenz zur Dimensionierung des Ventilators sind alle Teildruckdifferenzen des gesamten zu betrachtenden Systems zu addieren. Für eine Be- und Entlüftungsanlage kann das Gesamtsystem zum Beispiel aus folgenden Einzelkomponenten bestehen:

1. Zuluft

- | | |
|---------------------|--|
| 1 a. Außenluft: | <ul style="list-style-type: none"> • Wetterschutzgitter oder andere Widerstand verursachende Situationen • Außenluftleitung einschließlich Formteile |
| 1 b. Lüftungsgerät: | <ul style="list-style-type: none"> • Absperrklappe • Filter • Wärmetauscher • Dynamischer Druckanteil auf den engsten Stömungsquerschnitt bezogen |
| 1 c. Zuluft | <ul style="list-style-type: none"> • Schalldämpfer • Zuluftleitung einschließlich Formteile • Volumenstromregler oder Drosselklappe • Telefonieschalldämpfer • Luftauslaß (Gitter, Anemostat) |

2. Abluft

- | | |
|--------------------|--|
| 2 a. Abluft | <ul style="list-style-type: none"> • Lufteinlaß (Gitter) • Telefonieschalldämpfer • Volumenstromregler oder Drosselklappe |
| 2 b. Lüftungsgerät | <ul style="list-style-type: none"> • Dynamischer Druckanteil auf den engsten Stömungsquerschnitt bezogen • Absperrklappe |
| 2 c. Fortluft | <ul style="list-style-type: none"> • Fortluftleitung einschließlich Formteile • Deflektorhaube oder andere Fortluftöffnung |

Berechnung des Druckverlustes des Leitungssystems einer lufttechnischen Anlage

Zur Berechnung des Druckverlustes für das Leitungssystem ist wie folgt zu verfahren:

Aus einem verzweigten Leitungsnetz ist der Strang mit dem zu erwartenden höchsten Druckverlust (längste Leitungsstrecke) auszuwählen. Aus diesem Leitungsstrang sind Gruppen mit gleichen Volumenströmen zu bilden. Beginnend am zugehörigen Ventilator sind die einzelnen Bauteile mit ihren Längen bzw. Stückzahlen gruppenweise in die Berechnungsliste einzutragen. Aus dem beiliegenden "Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzrohr" und "Rohrreibungsdiagramm Flexrohr" sind die für die einzelnen Gruppen gültigen Luftgeschwindigkeiten und dynamischen Drücke zu entnehmen und in die Spalten des 1. Bauteils jeder Gruppe einzutragen. Für die einzelnen Bauteile sind die Widerstandsbeiwerte aus den beiliegenden Diagrammen bzw. Tabellen zu entnehmen und in die entsprechenden Spalten "Zeta/Einh." einzutragen. Diese Widerstandsbeiwerte sind mit den Längen bzw. Stückzahlen der Bauteile zu multiplizieren und das Produkt ist in die Spalte "Zeta-ges." einzutragen. Die so errechneten Widerstandsbeiwerte einer Gruppe sind zu addieren und die Summe mit dem dynamischen Druck dieser Gruppe zu multiplizieren. Das Produkt ist in die Spalte "Wid.ges."

einzutragen. Für die übrigen Gruppen (gleichen Volumenstroms) ist ebenso zu verfahren. Zusätzlich ist für die Bauteile, für welche keine Widerstandsbeiwert-Angaben möglich sind (Luftauslässe, Lufteinlässe, Wetterschutzgitter, Volumenstromregler, Filter, Wärmetauscher usw.) die Druckverluste entsprechend den Herstellerangaben in die Spalte "Wid.ges." einzutragen. Die in der Spalte "Wid.ges." eingetragenen Werte sind zu addieren und ergeben als Summe den für dieses Leitungssystem in Anrechnung zu bringenden Druckverlust (siehe Beispiel 1 A - 1 B im Anhang Seite 57 - 58).

Abweichend von vorbeschriebener Vorgehensweise kann auch eine gemischte Berechnung durchgeführt werden. Dabei werden ebenso wie vor beschrieben Gruppen mit gleichen Volumenströmen gebildet. Für die Rohrpositionen werden hierbei aus dem "Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzrohr, Diagramm W3" und "Rohrreibungsdiagramm Flexrohr, Diagramm W3" die entsprechenden Widerstände pro Meter entnommen und in die Spalte "Wid./Einh" eingetragen. Dieser Wert wird mit der zugehörenden Länge multipliziert und das Produkt in die Spalte "Wid.ges." eingetragen. Für die Bauteile, deren Widerstand auf der Basis von Widerstandsbeiwerten errechnet wird, werden die zugehörenden Widerstandsbeiwerte in die Spalte "Zeta/Einh" eingetragen. Diese Werte werden mit der Stückzahl multipliziert und das Produkt in die Spalte "Zeta-ges." eingetragen.

Innerhalb jeder Gruppe werden diese Werte addiert und die Summe mit dem dynamischen Druck der Gruppe multipliziert. Das Ergebnis wird in die Spalte "Wid.ges." eingetragen. Zusätzlich ist für die Bauteile, für welche keine Widerstandsbeiwert-Angaben möglich sind (Luftauslässe, Lufteinlässe, Wetterschutzgitter, Volumenstromregler, Filter, Wärmetauscher usw.) die Druckverluste entsprechend den Herstellerangaben in die Spalte "Wid.ges." einzutragen. Die in der Spalte "Wid.ges." eingetragenen Werte sind zu addieren und ergeben als Summe den für dieses Leitungssystem in Anrechnung zu bringenden Druckverlust.

Wenn das Leitungssystem aus rechteckigen Kanälen und Formstücken besteht ist zur Berechnung für die verschiedenen Kanalquerschnitte der gleichwertige Durchmesser einer runden Rohrleitung zu bestimmen. Die Abhängigkeit des gleichwertigen Durchmessers von den Abmessungen einer rechteckigen Kanalleitung ist zum Beispiel wie folgt:

Abmessungen	Querschnitt	Gleichw. Durchm.	Rohrquerschnitt
300 mm x 300 mm	0,09 m ²	300 mm	0,071 m ²
200 mm x 400 mm	0,08 m ²	267 mm	0,056 m ²
200 mm x 600 mm	0,12 m ²	300 mm	0,071 m ²
200 mm x 800 mm	0,16 m ²	320 mm	0,080 m ²

Das Leitungssystem wird so betrachtet, als wäre es als runde Rohrleitung mit dem gleichwertigen Durchmesser ausgeführt. Für die Formstücke sind die Widerstandsbeiwerte aus Tabellen zu entnehmen. Die Berechnung selbst kann dabei auf beide vorbeschriebenen Arten durchgeführt werden.

Auswahl des Ventilators

Bei der Auswahl des Ventilators kann man zwischen 2 grundsätzlichen Typen unterscheiden:

1. Ventilator mit TrommellaufRad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln
2. Ventilator mit rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln

Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Ausführungen bestehen im:

1. Anschaffungspreis
2. Wirkungsgrad

Der Ventilator mit dem TrommellaufRad hat gegenüber dem Ventilator mit den rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln den günstigeren Anschaffungspreis bei einem schlechteren Wirkungsgrad. Der Ventilator mit den rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln hat gegenüber dem Ventilator mit dem TrommellaufRad den höheren Anschaffungspreis bei einem besseren Wirkungsgrad. Die Berücksichtigung des besseren Wirkungsgrades wirkt sich vorteilhaft auf die laufenden Betriebskosten aus. Aufgrund der Baugröße und der Einbauverhältnisse ist oft nur der Einsatz eines Ventilators mit einem Trommelläufer möglich. Zur Bestimmung der Baugröße eines Ventilators ist aus den Kurvenblättern des Herstellers die Größe auszuwählen, in welcher der Schnittpunkt von Volumenstrom [m^3/h] und Gesamtdruckdifferenz den besten Wirkungsgrad ergibt. Bei der Bestimmung des für den Ventilator notwendigen Gesamtdruckes ist der dynamische Druckanteil zu der Summe der ermittelten Leitungsverluste zu addieren.

Bestimmung der Ventilator-Antriebsleistung

Zur Bestimmung der erforderlichen Antriebsleistung eines Ventilators sind:

1. Volumenstrom in m^3/h oder in m^3/s
2. Gesamtdruckdifferenz in Pa
3. Ventilatorwirkungsgrad in %

maßgebend.

$$\text{Antriebsleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times \text{Druckdifferenz} \times 100}{3600 \times 1000 \times \text{Wirkungsgrad}}$$

$$\text{Antriebsleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \text{Druckdifferenz} \times 100}{1000 \times \text{Wirkungsgrad}}$$



Beispiel 1: Gegeben: Ventilator mit Trommellauftrad
 Volumenstrom 6800 m³/h = 1,89 m³/s
 Gesamtdruckdifferenz 850 Pa
 Ventilatorwirkungsgrad 55 %

Gesucht: Antriebsleistung in kW

$$\text{Antriebsleistung} = \frac{6800 \times 850 \times 100}{3600 \times 1000 \times 55} = 2,92 \text{ (kW)}$$

$$\text{Antriebsleistung} = \frac{1,89 \times 850 \times 100}{1000 \times 55} = 2,92 \text{ (kW)}$$

gewählte Motorleistung = 3,0 kW

Beispiel 2: Gegeben: Ventilator mit rückwärts gekrümmten Laufradschaufeln
 Volumenstrom 6800 m³/h
 Gesamtdruckdifferenz 850 Pa
 Ventilatorwirkungsgrad 80 %

Gesucht: Antriebsleistung in kW

$$\text{Antriebsleistung} = \frac{6800 \times 850 \times 100}{3600 \times 1000 \times 80} = 2,0 \text{ (kW)}$$

$$\text{Antriebsleistung} = \frac{1,89 \times 850 \times 100}{1000 \times 80} = 2,0 \text{ (kW)}$$

gewählte Motorleistung = 2,0 kW

Bezogen auf die beiden vorstehenden Beispiele beträgt der Betriebskostenunterschied pro Jahr bei einer jährlichen Nutzungsdauer von 3000 Stunden, einem Arbeitspreis für die elektrische Energie von 0,08 €/kWh und einer Leistungsdifferenz von (2,92 kW - 2,0 kW) = 0,92 kW

$$\text{Betriebskostendifferenz} = 3000 \times 0,92 \times 0,08 = 220,8 \text{ (€)}$$

Zur Vermeidung eines schlechten Leistungsfaktors (cos-phi) sind bei Polumschaltbaren Antrieben solche mit Leistungsabstufungen für Lüfterantriebe einzusetzen.

Ermittlung der Lufterhitzerleistung

Die Lufterhitzerleistung wird bestimmt durch den Luftvolumenstrom und die erforderliche Temperaturerhöhung. Mitbestimmend ist die spezifische Wärmekapazität (c-p).

Diese beträgt für Luft 1,00 kJ/ (kg x K) bzw. = 0,24 kcal/ (kg x K)

Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$\text{Lufterhitzerleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p}{3600}$$

bzw.

$$\text{Lufterhitzerleistung} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) = \text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p$$

Ermittlung der Luftkühlerleistung

Die Kühlerleistung ist abhängig von der Kühllastberechnung, die wiederum von der Gebäudelage (freistehend - zwischenstehend) und der Ausbildung der Fensterflächen abhängig ist. Haupteinfluß auf die Kühllast ist der durch die Fensterflächen eindringende Strahlungsanteil. Dabei ist der Einfallswinkel mitentscheidend (Jahreszeit - Tageszeit). Mit Rücksicht auf im Kühlbetrieb zu erwartende Zugserscheinungen sind der Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Zulufttemperatur Grenzen gesetzt. Bei üblichen Luftauslässen sollte die Temperaturdifferenz nicht mehr als 6-8 Kelvin betragen. Die maximal vertretbare Temperaturdifferenz in Verbindung mit der erforderlichen Kühllast bestimmen den Volumenstrom und damit auch die Luftwechselzahl. Auf der baulichen Seite ist es vorteilhaft, den Strahlungsanteil für die Kühllast abzusenken. Dazu gehören z. B. außenliegende hinterlüftete Jalousien oder vorragende Fensterüberbauten. Die Höhe der Kühllast ist mitentscheidend über die Installationskosten als auch über die laufenden Betriebskosten.

Ermittlung der Luftbefeuchterleistung

Zur Ermittlung der Befeuchterleistung einer Klimaanlage sind die Luftzustände der Mischluft bei der niedrigsten Außentemperatur während der Heizperiode und der Raumluft in Verbindung mit dem Gesamtvolumenstrom der Anlage maßgebend. Aus dem h-x-Diagramm werden die beiden x-Werte. (Wassergehalt der Luft in g Wasser pro kg Luft) ermittelt. Die Differenz der beiden Werte ist die Wassermenge, welche einem kg Luft zugeführt werden muß. Die Befeuchterleistung wird wie folgt berechnet:

$$\text{Befeuchterleistung} \left(\frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Diff. absol. Feuchte}}{1000}$$



Beispiel:	Gegeben:	Volumenstrom	16500 m ³ /h
		Wassergehalt-x (Raumluft)	7,5 g/kg
		Wassergehalt-x (Mischluft)	4,0 g/kg
		Wassergehalt-x (Differenz)	3,5 g/kg

$$\text{Befeuchterleistung} = \frac{16500 \times 1,20 \times 3,5}{1000} = 69,3 \left(\frac{1}{h} \right)$$

Durch das Anreichern der Luft mit Wasser ändert sich deren Wärmeinhalt nicht, sondern lediglich die Temperatur. Durch das Anreichern der Luft mit Dampf ändert sich auch deren Wärmeinhalt. Zur Befeuchtung der Luft stehen seitens der Hersteller verschiedene Komponenten zur Wahl:

Dies sind zum Beispiel:	Luftwäscher
	Verdunstungskühler
	Dampfbefeuchter

Wärmerückgewinnung zu Energieeinsparung

Die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Fortluft kann während der Heizperiode und der Kühlperiode zur Energieeinsparung ausgenutzt werden. Bei den heutigen Energiekosten muß dies in die Berechnung der Betriebskosten berücksichtigt werden. Die Hersteller bieten verschiedene Wärmerückgewinnungskomponenten an. Die einfachste Art sind die Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher. Dabei werden Außenluft und Fortluft durch ein Plattensystem aus Aluminium oder Glas als Wärmeübertrager geführt. Durch eine Bypassklappe wird der Wärmetauscher umgangen, wenn ein Wärmerückgewinn nicht mehr angebracht ist (negative Temperaturdifferenz): Bei räumlicher Trennung von Außenluft und Fortluft erfolgt der Energieaustausch durch einen Flüssigkeitskreislauf mit Wärmetauschern im Außen- und Fortluftstrom. Wenn der Wärmerückgewinn nicht mehr angebracht ist (negative Temperaturdifferenz), wird dazu die Umwälzpumpe ausgeschaltet. Wenn es die räumlichen Gegebenheiten zulassen, kann ein rotierender Wärmetauscher eingesetzt werden. Bei diesen Wärmetauschern dreht sich die großflächige Speichermasse durch die beiden Luftströme. Zur Anpassung an die Temperaturdifferenz ist die Drehgeschwindigkeit veränderbar. Je nach Fabrikat wird durch spezielle Speichermaterialien auch die Differenz der Luftfeuchtigkeit in den Energieaustausch mit einbezogen.

Anforderung zur Isolierung des Leitungssystems von lufttechnischen Anlagen

Es gibt verschiedene Kriterien, welche für die Isolierung einer Luftleitung entscheidend sind.

1. Wenn durch relativ große Temperaturunterschiede zwischen der geförderten Luft im Leitungssinnern und der Umgebungsatmosphäre der Leitung mit nicht vertretbaren Energieverlusten bzw. mit Temperaturabsenkungen zu rechnen ist.

Beispiel:	Volumenstrom	3850	m ³ /h
	Rohrleitung	500	mm Durchmesser
	Leitungslänge	26	m
	Leitungsoberfläche	40,84	m ²
	Umgebungstemperatur	20	°C
	mittlere Temperaturdifferenz	23	K

Luftheizungsanlage (Leitung nicht isoliert)

Wärmedurchgangszahl (k) 5,5 W/ (m² x K)

$$\text{Verlustleistung (kW)} = \frac{\text{Leitungsoberfläche} \times \text{mittl. Temp. Diff.} \times \text{Wärmedurchg.-Zahl}}{1000}$$

$$\text{Verlustleistung} = \frac{40,84 \times 23 \times 5,5}{1000} = 5,166 \text{ (kW)}$$

$$\text{Temperaturdifferenz (K)} = \frac{\text{Verlustleistung} \times 3600}{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times c \cdot p}$$

(zwischen Anfang und Ende der Leitung)

$$\text{Temperaturdifferenz} = \frac{5,166 \times 3600}{3850 \times 1,20 \times 1,00} = 4,025 \text{ (K)}$$

Luftheizungsanlage (Leitung isoliert)

Wärmedurchgangszahl (k) 0,95 W/ (m² x K)

$$\text{Verlustleistung} = \frac{40,84 \times 23 \times 0,95}{1000} = 0,892 \text{ (kW)}$$

$$\text{Temperaturdifferenz} = \frac{0,892 \times 3600}{3850 \times 1,20 \times 1,00} = 0,83 \text{ (K)}$$

2. Wenn durch Unterschreitung des Taupunktes der Umgebungsluft der Luftleitung durch die kalte Luft im Leitungsinnen zu Kondensationserscheinungen kommen kann. Dies trifft zum Beispiel bei Außenluftleitungen, welche durch beheizte Räume geführt sind zu.

Beispiel:	Außenluftleitung nicht isoliert	
	Minimale Außenlufttemperatur	-12°C
	Umgebungsluftzustand	15°C 40 % rF
	zugehörige Taupunkttemperatur	1°C

Bei Außenlufttemperatur unter +1 °C ist mit Kondensationserscheinungen zu rechnen (Schwitzen der Leitung).

3. Wenn Luftleitungen mit relativ hohem inneren Schalleistungspegel durch Räume führen, in denen mit Beeinträchtigungen durch die Schallabstrahlung zu rechnen ist.

4. Wenn Luftleitungen mit niedrigen inneren Schalleistungspegel durch Räume führen, in denen mit Beeinträchtigungen durch die Schalleinstrahlung zu rechnen ist.

Betrachtung über akustische Anforderungen an lufttechnischen Anlagen

Eine lufttechnische Anlage besteht zwangsläufig aus Komponenten, welche Geräusche erzeugen, die in den versorgten Räumen als störend empfunden werden können. Für die unterschiedlichen Raumnutzungen sind in den gültigen DIN-Vorschriften Maximalwerte für die A-bewerteten Schalldruckpegel angegeben.

Durch eine lufttechnische Anlage werden im Luftstrom folgende Geräusche verursacht:

- a) Ventilatorgeräusch
- b) Strömungsgeräusch
- c) Drosselgeräusch

Da je nach der Art der Raumnutzung unterschiedliche maximale Schalldruckpegel einzuhalten sind, müssen Maßnahmen ergriffen werden diese zu erreichen. Das Ventilatorgeräusch kann durch einen Hauptschalldämpfer am Anfang des Leitungssystems so reduziert werden, daß es in Verbindung mit der Eigendämpfung des Leitungssystems in den angeschlossenen Räumen nicht wirksam ist. Durch diese Maßnahme wird ebenfalls die Stärke der Schallabstrahlung des Leitungssystems vorteilhaft beeinflusst. Das Strömungsgeräusch ist abhängig von der Luftgeschwindigkeit, sowie der strömungstechnischen Ausbildung der verschiedenen Komponenten des Leitungssystems.

Besonders nachteilig auf die Akustik wirken sich scharfkantige Umlenkungen und Verzweigungen aus. Bei Abzweigen, welche auf der Baustelle ausgeführt werden kommt es oft vor, daß durch zu kleine Anschlußausschnitte Blechkanten in den Luftstrom hineinragen, als auch bedingt dadurch an dieser Stelle die Luftgeschwindigkeit erhöht wird. Drosselgeräusche entstehen zwangsläufig an Bauteilen, welche zur Einregulierung der Luftverteilung erforderlich sind. Dies können sowohl

handbetätigte Drosselklappen als auch selbsttätige mechanische oder elektronische Volumenstromregler sein. Für die an dem Drosselement entstehende Schalleistung ist der Volumenstrom in Verbindung mit der sich einstellenden Druckdifferenz entscheidend. Bei stark verzweigten Leitungssystemen bestehen unterschiedliche Druckdifferenzen zwischen den Anschlüssen am Hauptleitungsanfang und den Anschlüssen am Leitungsende. Wenn eine Auswirkung des Drosselgeräusches in den betreffenden Räumen zu erwarten ist, sollte zwischen Drosselement und Raumauslaß ein Schalldämpfer eingebaut werden. Diese sogenannten Telefonieschalldämpfer verhindern gleichzeitig ein Übersprechen zwischen benachbarten Räumen über die Luftleitung. Bei der Auslegung des Schalldämpfers kann die sogenannte Raumdämpfung vom Drosselgeräusch in Abzug gebracht werden. Die Größe der Raumdämpfung ist unterschiedlich und ist abhängig von der Raumausstattung. Es können erfahrungsgemäß 8 Dezibel in Anrechnung gebracht werden, welche auch bei vielen Herstellern schon in deren Unterlagen berücksichtigt sein können (siehe Herstellerangaben).

Anforderungen an die Dichtheit eines Luftleitungssystems

Um sicherzustellen, daß möglichst die erforderliche Gesamtluftmenge den Räumen zugute kommt sollen die Verluste, welche durch Undichtigkeiten innerhalb des Leitungssystems zwangsläufig vorhanden sind möglichst gering gehalten werden. Man unterscheidet dazu zwischen den Dichtheitsklassen I, II, III und IV.

Die geforderte Dichtheitsklasse wird in den Ausschreibungsunterlagen festgelegt. Wenn vom Ersteller der lufttechnischen Anlage über die Einhaltung der geforderten Grenzwerte ein Nachweis zu erbringen ist, wird ein von dem Prüfer benannter Leitungsabschnitt an beiden Enden luftdicht verschlossen, und mittels eines Prüfventilators auf den erforderlichen Prüfdruck gebracht. Die dazu laufend aufzubringende Luftmenge wird gemessen und durch die Oberfläche des Leitungsabschnittes dividiert. Das Ergebnis darf die geforderte maximale Lecklufrate nicht überschreiten, (DIN 24194). Die Dichtheitsklassen der Luftleitungssysteme mit den zugehörigen Grenzwerten sind bei einem Prüfdruck von 1000 Pa wie folgt:

Dichtheitsklasse I	ohne Anforderungen für z.B. Garagen, Werkhallen, Turn- und Sportstätten
Dichtheitsklasse II	8,64 m ³ pro Stunde und 1m ² Kanaloberfläche für z. B. Versammlungsräume, Hörsäle, Laborzuluft, Normalbereich in Krankenhäusern
Dichtheitsklasse III	2,88 m ³ pro Stunde und 1m ² Kanaloberfläche für z. B. Reinraumbereiche, Krankenhäuser (Raumklassen I und II)
Dichtheitsklasse IV	0,97 m ³ pro Stunde und 1m ² Kanaloberfläche für z. B. Kernkraft, Isotopen- und Strahlungsbereiche

Für die Hersteller von Formteilen gelten die Dichtheitsklassen A, B und C. Die Dichtheitsklassen der Formteile mit den zugehörigen Grenzwerten sind bei einem Prüfdruck von 1000 Pa wie folgt:

Dichtheitsklasse A	4,32 m ³ pro Stunde und 1m ² Formteiloberfläche für Nennweiten 800 mm bis 2000 mm
Dichtheitsklasse B	1,44 m ³ pro Stunde und 1m ² Formteiloberfläche für Nennweiten 71mm bis 2000 mm
Dichtheitsklasse C	0,36 m ³ pro Stunde und 1m ² Formteiloberfläche für Nennweiten 71mm bis 710 mm

Da man davon ausgehen kann, daß ein Wickelfalzrohr praktisch als dicht angesehen werden kann und lasergeschweißte Form- und Verbindungsteile ebenfalls dicht sind, bleibt als einziges Kriterium für die Dichtheit die Ausbildung der Verbindungsstellen. Eine mit einer zusätzlichen Dichtung versehene Verbindungsstelle hat zwar einen höheren Materialwert, welcher aber zum Beispiel beim Einsatz einer hochwertigen Dichtung durch die damit verbundene Einsparung bei der Montage in der Gesamtheit positiv zu bewerten ist.

Anforderung an die Inspektionsmöglichkeiten von Leitungssystemen

Bei Luftleitungssystemen besteht oft die Erfordernis, das Leitungssystem in regelmäßigen Zeitabständen auf Verschmutzung durch Ablagerungen zu kontrollieren und erforderlichenfalls zu reinigen. Dies trifft insbesondere bei Hygieneanlagen (Krankenanstalten, OP-Bereiche) zu. Die von der Industrie bisher zur Verfügung stehenden Revisionsöffnungen tragen dem nur bedingt Rechnung. Eine weitaus bessere Lösung bieten Bauteile, welche sich komplett und einfach seitlich aus dem Leitungssystem entfernen und wieder einbauen lassen.

Durch diese Maßnahme ist die an dieser Stelle offene Leitung in beiden Richtungen zu überprüfen und falls erforderlich auch zu reinigen. Ohne größeren Aufwand lassen sich dazu Bauteile wie Formstücke, Drosselelemente, Volumenstromregler und dergleichen verwenden. Besonders bei Luftleitungen mit kleinen Querschnitten ist dies die einzig sinnvolle Möglichkeit für eine Reinigung.

Anforderungen an die Luftverteilung und Messung bei lufttechnischen Anlagen

Bei einer lufttechnischen Anlage muß bei der Inbetriebnahme außer den Regelparametern für die Temperatur und die relative Feuchte auch dem Gesamtvolumenstrom, sowie der Volumenstromverteilung in die verschiedenen Abschnitte (z.B. Räume) Beachtung geschenkt werden. Der Gesamtvolumenstrom wird durch Messung der Luftgeschwindigkeit in der Hauptleitung ermittelt. Entsprechend müssen auch die Teilvolumenströme im verzweigenden Leitungssystem festgestellt werden. Je nach Ausbildung des Geschwindigkeitsprofils muß für eine relativ genaue Messung eine Mittelung aus mehreren Einzelpunktmessungen erfolgen. Dabei ist zu beachten, daß der Leitungsquerschnitt in mehrere

gleiche Einzelquerschnitte aufgeteilt wird. Der Meßpunkt liegt dabei im Flächenschwerpunkt des Einzelquerschnittes. Bei einem runden Rohr bestehen die Einzelquerschnitte aus einer entsprechenden Anzahl von Kreisringen gleichen Querschnittes. Bei einem achssymmetrischen Strömungsprofil (gerade Anlaufstrecke von ca. 10 x Rohrdurchmesser) genügt dabei jeweils 1 Meßpunkt je Querschnittschwerpunktradius. Wenn kein achssymmetrisches Strömungsprofil zu erwarten ist, wie zum Beispiel nach Umlenkungen oder Abzweigen muß die Messung in zwei um 90 Grad versetzten Ebenen und jeweils über den gesamten Querschnitt erfolgen. Die mittlere Geschwindigkeit ergibt sich aus der Summe der Einzelgeschwindigkeiten dividiert durch die Anzahl der Meßpunkte.

Bei einem achssymmetrischen Profil ist auch eine Einzelpunktmessung möglich. Dabei wird die maximale Luftgeschwindigkeit im runden Rohr festgestellt und mit dem Faktor "0,816" multipliziert. Das Ergebnis ist die mittlere Geschwindigkeit in der Rohrleitung. Bei dieser Messung werden die unterschiedlichen turbulenten Strömungsprofilformen berücksichtigt. Ein Abgleich der Leitungswiderstände zum Erreichen der geforderten Volumenströme in den verschiedenen Abschnitten ist sehr zeitaufwendig und zudem sehr ungenügend. Jede Drosselung in einem Abzweig hat Rückwirkungen auf den Druckverlauf in den übrigen Bereichen. In der Regel ist daher ein mehrfaches Nachregulieren erforderlich. Erschwerend kommt noch hinzu, daß oft für eine exakte Messung die Voraussetzungen fehlen (geeignete Meßstelle).

Da üblicherweise die Drosselorgane im Deckenbereich (Zwischendecke) platziert sind, müssen je nach Baufortschritt die bereits fertig abgehängten Deckenbereiche zur Einregulierung wieder geöffnet und nach deren Beendigung wieder geschlossen werden. Wenn diese Maßnahmen aus Kosten- oder Termingründen unterbleiben und die Luftverteilung über die Luftaus- und Lufteinlässe einreguliert wird, können abgesehen von der mangelhaften Zuordnung zusätzlich Geräuschprobleme auftreten. Man muß bedenken, daß die Einregulierungsarbeiten einen erheblichen Kostenfaktor für das Gesamtprojekt darstellen. So müssen Meßbohrungen hergestellt und nach Beendigung der Einregulierung wieder verschlossen werden. Außerdem müssen die erforderlichen Leitern oder Gerüste bereitgestellt und an die einzelnen Meß- und Drosselstellen gebracht werden. Die Einregulierung wird üblicherweise von zwei Personen durchgeführt, da Meßstelle und Drosselement entfernt voneinander angeordnet sind. Da die Leitungen meist im Deckenbereich montiert sind, ist der Zugang oft erschwert. Der Anteil der nicht effektiven Arbeitszeit ist dabei zwangsläufig sehr hoch. Eine Möglichkeit die Luftverteilung mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand zu gewährleisten, besteht durch den Einsatz von mechanischen Volumenstromreglern anstelle von handbetätigten Drosselementen. In dem nachstehend aufgeführten Beispiel ist der finanzielle Aufwand zur Einregulierung von 20 Stück handbetätigten Drosselklappen aufgeführt. Wenn bei nur 2 Durchgängen mit 2 Personen inklusive Nebenarbeiten (Meßbohrungen herstellen und wieder verschließen, Transport der Leitern und Meßgeräte) je Drosselstelle ein Zeitaufwand von jeweils nur 20 Minuten angenommen wird, ergibt dies einen Gesamtzeitaufwand von:

$$2 \text{ Pers.} \times 2 \text{ Durchg.} \times 20 \text{ Drosselst.} \times 20 \text{ Min./Drosselst.} = 1600 \text{ Min.} = 26,67 \text{ Std.}$$

Bei einem mittleren Stundenlohn von € 12,00 und einem Gemeinkostenaufschlag von 200 % ergibt dies einen anrechenbaren Stundensatz von € 36,00. Der finanzielle Aufwand für die Einregulierung beträgt demnach:

$$26,67 \text{ Std.} \times 36,00 \text{ €/Std.} = € 960,12$$

Eine Gegenüberstellung der Materialkosten zwischen dem Einsatz von 20 Stück Drosselklappen mit einem Durchmesser von 160 mm gegenüber 20 Stück Volumenstromreglern mit gleichem Durchmesser ergibt folgendes:

20 Drosselklappen 160 mm	€/Stück 23,95	€/gesamt	479,00
20 Volumenstromregler 160 mm	€/Stück 80,75	€/gesamt	1615,00
	Differenz	€/gesamt	1136,00

Aus dem angeführten Beispiel ist zu ersehen, daß abgesehen von der Exaktheit der Luftverteilung ein Einsatz von Volumenstromreglern wirtschaftlich vorteilhaft ist.

Einsatz von Volumenstromreglern in lufttechnischen Anlagen

Die Entwicklung von Volumenstromreglern hat es ermöglicht, die Luftverteilung innerhalb einer lufttechnischen Anlage ohne besondere Einregulierungen zu gewährleisten. Bei dem heutigen Stand der Technik unterscheidet man zwischen:

Mechanischen Volumenstromreglern ohne Hilfsenergie
und
Volumenstromreglern mit Hilfsenergie (elektrisch oder pneumatisch)

Bei dem mechanischen Volumenstromregler ohne Hilfsenergie erfolgt die druckunabhängige Konstanthaltung des auf dem Prüfstand eingestellten Volumenstromes aufgrund seines mechanischen Aufbaues.

Beim Volumenstromregler mit Hilfsenergie handelt es sich um einen Regelkreis, bei dem die Luftgeschwindigkeit durch eine geeignete Meßeinrichtung (Meßdüse, Meßkreuz u. dergl.) erfaßt wird und ein motorisch betätigtes Drosselelement derart verstellt wird, daß sich der gewünschte Volumenstrom einstellt.

Der mechanische Volumenstromregler ist aufgrund seines einfachen Aufbaues immer das kostengünstigste Bauteil. Selbst Anlagen mit lastabhängigem Volumenstrom lassen sich mit mechanischen Volumenstromreglern realisieren. Dabei erfolgt eine Sollwertverstellung zwischen zwei Grenzwerten durch einen aufgebauten Stellantrieb (elektrisch oder pneumatisch). Die Verstellung kann dabei entweder stufenlos oder als Umschaltung zwischen den Grenzwerten erfolgen. Abgesehen von der exakten Luftverteilung, wird bei Anlagen, bei denen mit Filterwiderstands-Unterschieden zu rechnen ist (OP-Säle u. dergl.) der Volumenstrom konstant gehalten. Der Volumenstromregler berücksichtigt den sich ändernden Filterwiderstand. Da sich die Filterwiderstandsänderung lediglich bei der Zuluft auswirkt, ändert sich bei deren Nichtberücksichtigung die Luftbilanz zwischen Zu- und Abluft des versorgten Raumes (Über- /Unterdruck).

Ist dabei der Volumenstromregler mit einer motorischen Sollwertumschaltung versehen, können die Anlagenteile mit zwei unterschiedlichen Volumenströmen betrieben werden. (z.B. OP-Räume im Bereitschafts- und Nutzbetrieb). In lufttechnischen Anlagen, bei welchen Teilbereiche bei Nichtnutzung von der Luftversorgung abgesperrt werden können (z.B. Ladengeschäfte mit zentraler Luftversorgung) bleiben die Volumenströme unabhängig von Druckrückwirkungen durch abgesperrte Teilbereiche konstant. Dadurch können bei kalorimetrischer Abrechnung der Betriebskosten in Zeiten geringer

Kundenfrequenz durch den Betreiber (Pächter) Einsparungen erreicht werden. Der Volumenstromregler mit Hilfsenergie ist aufgrund der erforderlichen Regelkomponenten die aufwendigere Komponente. Bei umfangreicheren lufttechnischen Anlagen ist deren Einsatz gerechtfertigt, wenn sie in ein Gebäudeautomatisierungssystem eingebunden sind. Dabei läßt sich Energie einsparen, wenn über Raumnutzungszustände die einzelnen Volumenstromregler-Sollwerte beeinflußt werden. Die Hersteller bieten beide Ausführungen (Volumenstromregler ohne und mit Hilfsenergie) sowohl in runder als auch in rechteckiger Form an.

Anforderungen an Industrieanlagen

Bei Industrieanlagen weichen die Kriterien von denen der Raumlufttechnischen Anlagen ab. Die Beachtung der akustischen Auswirkungen kann in der Regel entfallen, da die Geräusche der Bearbeitungsmaschinen dominierend sind. Bei Absaugeanlagen wie zum Beispiel für die Bearbeitungsmaschinen eines Holzbearbeitungsbetriebes werden in der Regel von den Herstellern der Maschinen Absaugeanschlüsse angebracht und auch Angaben über die erforderlichen Volumenströme gemacht. Der Gesamtvolumenstrom ergibt sich aus der Summe der Einzelsvolumenströme.

Die Luftgeschwindigkeiten sind dabei höher als bei Raumluftanlagen. Diese können um Ablagerungen zu vermeiden bis ca. 20 m/s betragen. Auf die Form- und Verbindungsteile ist wegen der Ablagerungsgefahr besondere Sorgfalt zu legen. So sind zum Beispiel T-Abzweigstücke mit schrägem Abzweiganschluß und Bögen mit relativ großem Umlenkradius zu verwenden. Zum Abscheiden des Absaugegutes (z. B. Späne) können Zyklone mit nachgeschaltetem Gewebefilter eingesetzt werden. Wenn die abgesaugte Luft ins Freie gefördert wird, muß der entsprechende Volumenstrom um ein Nachströmen über Türen und Fenster zu vermeiden durch Außenluft ersetzt werden. Mit entsprechender Filterung und wenn sonst keine Beeinträchtigung der Luftqualität vorliegt, kann die abgesaugte Luft wieder dem Raum zugeführt werden.

Berechnungsbeispiele

Berechnungsbeispiele für eine Be- und Entlüftungsanlage

Volumenstrom = Außenlufrate

Anzahl der sich in den zu versorgenden Räumen aufhaltenden Personen	=	77 Personen
Außenlufrate pro Person und Stunde (siehe Tabelle - Großraumbüro)	=	50 m ³ /h
Rauminhalt der versorgten Räume	=	1100 m ³

$$\text{Volumenstrom} = 77 \text{ Personen} \times 50 = 3850 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Luftwechsel} = \left(\frac{3850}{1100} \right) = 3,5 \text{ fach pro Stunde}$$



Wärmetauscher

minimale Außentemperatur	=	-12°C	
Zulufttemperatur	=	20°C	
Temperaturdifferenz	=	32 K	
Spezifische Wärmekapazität c-p	=	1,00 kJ/(kg x K)	bzw. = 0,24 kcal/(kg x K)

$$\text{Wärmeleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom x Dichte x Temp. Diff. x c - p}}{3600}$$

$$\text{Wärmeleistung (kW)} = \frac{3850 \times 1,20 \times 32 \times 1,00}{3600} = 41,07 \text{ (kW)}$$

bzw.

$$\text{Wärmeleistung} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) = \text{Volumenstrom x Dichte x Temp. Diff. x c - p}$$

$$\text{Wärmeleistung} = 3850 \times 1,20 \times 32 \times 0,24 = 35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$\frac{35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)}{860 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right)} = 41,26 \text{ (kW)}$$

Die Wärmeleistung des Lufterhitzers beträgt:
41,07 kW
bzw.
35482 kcal/h

Berechnungsbeispiel für eine Luftheizungsanlage

Außenluftrate

Anzahl der sich in den zu versorgenden Räumen aufhaltenden Personen	=	77 Personen
Außenluftrate pro Person und Stunde (siehe Tabelle - Großraumbüro)	=	50 m ³ /h
Rauminhalt der versorgten Räume	=	1100 m ³

$$\text{Außenluftrate} = 77 \text{ Personen} \times 50 = 3850 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Wärmetauscher (Heizen)

minimale Außentemperatur	=	-12°C	
Raumtemperatur	=	20°C	
Temperaturdifferenz	=	32 K	
Spezifische Wärmekapazität c-p	=	1,00 kJ/(kg x K)	bzw. = 0,24 kcal/(kg x K)

$$\text{Lüftungswärme (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom x Dichte x Temp. Diff. x c - p}}{3600}$$

$$\text{Lüftungswärme (kW)} = \frac{3850 \times 1,20 \times 32 \times 1,00}{3600} = 41,07 \text{ (kW)}$$

bzw.

$$\text{Lüftungswärme} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) = \text{Volumenstrom x Dichte x Temp. Diff. x c - p}$$

$$\text{Lüftungswärme} = 3850 \times 1,20 \times 32 \times 0,24 = 35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$\frac{35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)}{860 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right)} = 41,26 \text{ (kW)}$$

Raumtemperatur	=	20°C
Maximale Zulufttemperatur	=	45°C
Temperaturdifferenz	=	25 K
Transmissionswärme	=	18 kW (Vorgabe aus Wärmebedarfsberechnung)

$$\text{Wärmeleistung (kW)} = \text{Lüftungswärme} + \text{Transmissionswärme}$$

$$\text{Wärmeleistung} = 41,07 + 18,00 = 59,07 \text{ (kW)}$$

Die Wärmeleistung des Lufterhitzers beträgt:
59,07 kW bzw. 50800 kcal/h



Volumenstrom

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Wärmeleistung} \times 3600}{\text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p}$$

$$\text{Volumenstrom} = \frac{59,07 \times 3600}{1,2 \times 25 \times 1,00} = 7088 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Luftwechsel (fach pro Stunde)} = \frac{\text{Volumenstrom}}{\text{Rauminhalt}}$$

$$\text{Luftwechsel} = \frac{7088}{1100} = 6,44 \text{ fach pro Stunde}$$

Berechnungsbeispiel für eine Teilklimaanlage

Außenlufrate

Anzahl der sich in den zu versorgenden Räumen aufhaltenden Personen	=	77 Personen
Außenlufrate pro Person und Stunde (siehe Tabelle - Großraumbüro)	=	50 m ³ /h
Rauminhalt der versorgten Räume	=	1100 m ³

$$\text{Volumenstrom} = 77 \text{ Personen} \times 50 = 3850 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Wärmetauscher (Heizen)

minimale Außentemperatur	=	-12°C	
Raumtemperatur	=	20°C	
Temperaturdifferenz	=	32 K	
Spezifische Wärmekapazität c-p	=	1,00 kJ/(kg x K)	bzw. = 0,24 kcal/(kg x K)

$$\text{Lüftungswärme (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p}{3600}$$

$$\text{Lüftungswärme (kW)} = \frac{3850 \times 1,20 \times 32 \times 1,00}{3600} = 41,07 \text{ (kW)}$$

bzw.

$$\text{Lüftungswärme} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right) = \text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p$$

$$\text{Lüftungswärme} = 3850 \times 1,20 \times 32 \times 0,24 = 35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)$$

$$\frac{35482 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right)}{860 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kWh}} \right)} = 41,26 \text{ (kW)}$$

Raumtemperatur	=	20°C
Maximale Zulufttemperatur	=	45°C
Temperaturdifferenz	=	25 K
Transmissionswärme	=	18 kW (Vorgabe aus Wärmebedarfsberechnung)

$$\text{Wärmeleistung (kW)} = \text{Lüftungswärme} + \text{Transmissionswärme}$$

$$\text{Wärmeleistung} = 41,07 + 18,00 = 59,07 \text{ (kW)}$$

Die Wärmeleistung des Lufterhitzers beträgt: 59,07 kW bzw. 50800 kcal/h

Volumenstrom (Heizen)

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Wärmeleistung} \times 3600}{\text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p}$$

$$\text{Volumenstrom} = \frac{59,07 \times 3600}{1,2 \times 25 \times 1,00} = 7088 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Luftwechsel (fach pro Stunde)} = \frac{\text{Volumenstrom}}{\text{Rauminhalt}}$$

$$\text{Luftwechsel} = \frac{7088}{1100} = 6,44 \text{ fach pro Stunde}$$

Wärmetauscher (Kühlen)

Luftzustand Kühleintritt	= 29°C	45%rF	57 kJ/kg	bzw. 13,68 kcal/kg
Luftzustand Kühleraustritt	= 18°C	80%rF	45 kJ/kg	bzw. 10,80 kcal/kg
Enthalpiedifferenz			12 kJ/kg	bzw. 2,88 kcal/kg
Kühllast	= 35 kW bzw. 30100 kcal/h			

Die Kühllast beinhaltet die Temperaturdifferenz, die Strahlungsenergie, die Beleuchtungswärme, die technische Ausrüstung, sowie die durch Personen abgegebene Wärmemenge.

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Wärmeleistung} \times 3600}{\text{Dichte} \times \text{Enthalp. Diff.}}$$

$$\text{Volumenstrom} = \frac{35,00 \times 3600}{1,2 \times 12} = 8750 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

bzw.

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Wärmeleistung} \times 3600}{\text{Dichte} \times \text{Enthalp. Diff.}}$$

$$\text{Volumenstrom} = \frac{30100}{1,20 \times 2,88} = 8709 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Luftwechsel (fach pro Stunde)} = \frac{\text{Volumenstrom}}{\text{Rauminhalt}}$$

$$\text{Luftwechsel} = \frac{8750}{1100} = 7,92 \text{ (fach pro Stunde)}$$

Bei unterschiedlichen Volumenstromergebnissen kommt der größere Volumenstrom zur Anwendung.

Berechnungsbeispiel für eine Klimaanlage

Hilfsmittel: h-x Diagramm

Gegeben: Außenlufrate 3850 m³/h
 Rauminhalt 1100 m³
 Luftwechsel 7 fach
 Transmissionswärme 22 kW (Vorgabe aus Wärmebedarfsberechnung)
 Kühllast 32 kW

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Rauminhalt} \times \text{Luftwechsel}$$

$$\text{Volumenstrom} = 1100 \times 7 = 7700 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Umluftanteil} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Volumenstrom} - \text{Außenlufrate}$$

$$\text{Umluftanteil} = 7700 - 3850 = \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Luftzustände in der Heizperiode:

min. Außenluft	-12,0 °C	87 %rF	-9,0 kJ/kg	1,0 g/kg
Raumluft	20,0 °C	50 %rF	37,5 kJ/kg	7,8 g/kg
Mischluft	3,8 °C	87 %rF	14,5 kJ/kg	4,4 g/kg
Taupunkt	13,0 °C	85 %rF	32,5 kJ/kg	7,8 g/kg
nach Vorwärmer	21,3 °C	29 %rF	32,5 kJ/kg	4,4 g/kg

Temperaturdifferenz der Transmissionswärme

$$\text{Temp. Diff. Trans. (K)} = \frac{\text{Transmissionsw.} \times 3600}{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times c \cdot p}$$

$$\text{Temp. Diff. Trans.} = \frac{22 \times 3600}{7700 \times 1,20 \times 1,00} = 8,57 \text{ (K)}$$



$$\text{Zulufttemperatur (}^{\circ}\text{C)} = \text{Raumtemperatur} + \text{Temperaturdifferenz}$$

$$\text{Zulufttemperatur} = 20 + 8,57 = 28,57 (^{\circ}\text{C})$$

$$\text{Temp. Diff. Vorw. (K)} = \text{Temp. nach Vorw.} - \text{Mischlufttemp.}$$

$$\text{Temp. Diff. Vorw.} = 21,3 - 3,8 = 17,5 \text{ (K)}$$

$$\text{Wärmeleistung Vorw. (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \times p}{3600}$$

$$\text{Wärmeleistung Vorw.} = \frac{7700 \times 1,20 \times 17,5 \times 1,00}{3600} = 44,92 \text{ (kW)}$$

Die Wärmeleistung des Vorwärmers beträgt: 44,92 kW

$$\text{Temp. Diff. Nachw. (K)} = \text{Zulufttemp.} - \text{Taupunkttemp.}$$

$$\text{Temp. Diff. Nachw.} = 28,6 - 13,0 = 15,6 \text{ (K)}$$

$$\text{Wärmeleistung Nachw. (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \times p}{3600}$$

$$\text{Wärmeleistung Nachw.} = \frac{7700 \times 1,20 \times 15,6 \times 1,00}{3600} = 40,04 \text{ (kW)}$$

Die Wärmeleistung des Nachwärmers beträgt: 40,04 kW

$$\text{absolute Feuchtediff.} \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) = \text{Taupunktfeuchte} - \text{Mischluftfeuchte}$$

$$\text{absolute Feuchtediff.} = 7,8 - 4,4 = 3,4 \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Luftwäscherleistung} \left(\frac{\text{l}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{abs. Feuchtediff.}}{1000}$$

$$\text{Luftwäscherleistung} = \frac{7700 \times 1,20 \times 3,4}{1000} = 31,42 \left(\frac{\text{l}}{\text{h}} \right)$$

Luftzustände in der Kühlperiode:

max. Außenluft	32,0 °C	40 %rF	60,0 kJ/kg	11,8 g/kg
Raumluft	26,0 °C	50 %rF	52,5 kJ/kg	10,5 g/kg
Mischluft	29,0 °C	45 %rF	56,3 kJ/kg	11,2 g/kg
Zuluft	17,5 °C	85 %rF	44,0 kJ/kg	10,5 g/kg

$$\text{Enthalpiediff. Kühler} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = \text{Mischluftenthalpie} - \text{Zuluftenthalpie}$$

$$\text{Enthalpiediff. Kühler} = 56,3 - 44,0 = 12,3 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Kühlerleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Enthalpiediff.}}{3600}$$

$$\text{Kühlerleistung} = \frac{7700 \times 1,20 \times 12,3}{3600} = 31,57 \text{ (kW)}$$

Die Leistung des Kühlers beträgt: 31,57 kW

Berechnungsbeispiel für eine Küchen- Be- und Entlüftungsanlage

Gegeben:	Rauminhalt (L x B x H)	8,50 m x 12,00 m x 3,50 m = 357,00 m ³
	Luftwechsel	30-fach
	Min. Außentemperatur	-12°C
	Max. Außentemperatur	32°C
	Zulufttemperatur	20°C
	Temperaturdifferenz	32 K

$$\text{Volumenstrom} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Rauminhalt} \times \text{Luftwechsel}$$

$$\text{Volumenstrom} = 357,00 \times 30 = 10710 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$\text{Wärmeleistung (kW)} = \frac{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times \text{Temp. Diff.} \times c \cdot p}{3600}$$

$$\text{Wärmeleistung} = \frac{10710 \times 1,20 \times 32 \times 1,00}{3600} = 114,2 \text{ (kW)}$$

Summenleistung der installierten Küchengeräte	20,0 kW
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8
mittlere abzuführende Leistung	600 W/kW

$$\text{anrechenbare Leistung (kW)} = \frac{\text{Summenleistung} \times \text{Gl. Faktor} \times \text{abzuf. Leistung}}{1000}$$

$$\text{anrechenbare Leistung} = \frac{20,0 \times 0,8 \times 600}{1000} = 9,6 \text{ (kW)}$$

$$\text{Temperaturdifferenz (K)} = \frac{\text{anrechenb. Leistung} \times 3600}{\text{Volumenstrom} \times \text{Dichte} \times c \cdot p}$$

$$\text{Temperaturdifferenz} = \frac{9,6 \times 3600}{10710 \times 1,20 \times 1,00} = 2,69 \text{ (K)}$$

$$\text{Raumtemperatur - Heizperiode (°C)} = \text{Zulufttemperatur} + \text{Temp. Differenz}$$

$$\text{Raumtemperatur - Heizperiode (°C)} = 20,0 + 2,70 = 22,7 \text{ (°C)}$$

$$\text{Raumtemperatur - Kühlperiode (°C)} = \text{Zulufttemperatur} + \text{Temp. Differenz}$$

$$\text{Raumtemperatur - Kühlperiode (°C)} = 32,0 + 2,70 = 34,7 \text{ (°C)}$$

Um eine Geruchsausbreitung in Gasträume zu vermeiden ist der Zuluftvolumenstrom geringer als der Abluftvolumenstrom zu halten. Zur Energieeinsparung ist es vorteilhaft die Anlage mit 2 Betriebsstufen (polumschaltbar) zu betreiben, da während der Vorbereitungszeit die thermische Belastung relativ gering ist. Wegen des hohen Wärmeeinbaus bei Küchen ist es aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft, durch eine Wärmerückgewinnungseinrichtung einen Teil der erforderlichen Heizenergie zur Außenluftherwärmung aus der Abluftwärme zu bestreiten. Ein rekuperativer Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung scheidet wegen der Geruchsübertragung aus. Bei den Abluftleitungen ist besondere Sorgfalt auf Dichtheit und evtl. Reinigungsmöglichkeit zu legen, da eine Kondensation der Wrasen nicht ganz verhindert werden kann.


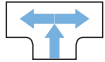
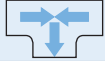
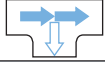
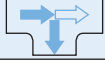
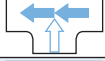
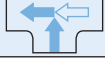


Auswahldiagramme

Schnellbestimmung von Durchm., Widerstandsbeiwert, Einzelwiderstand

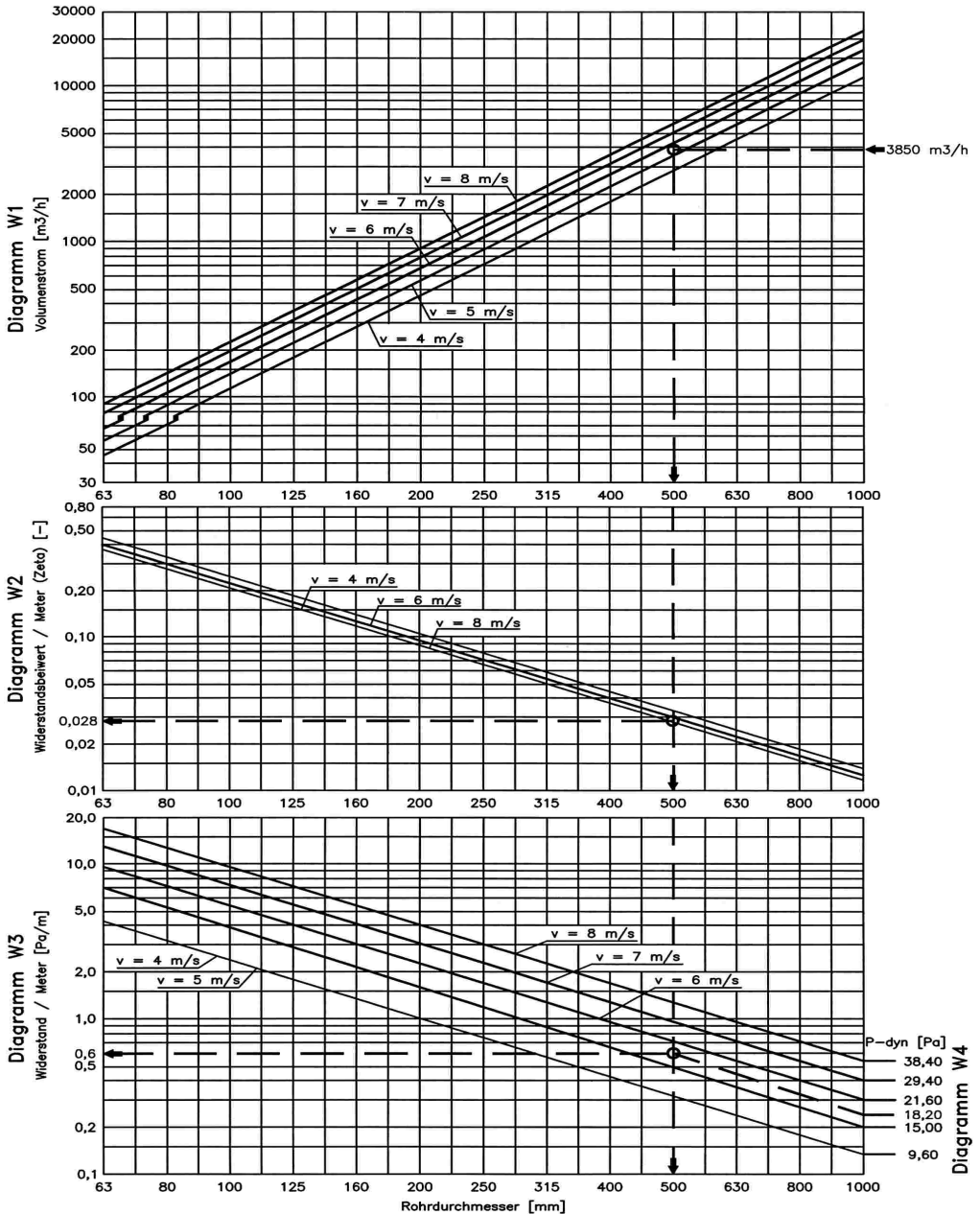
Schnellbestimmung von Durchmesser, Widerstandsbeiwert (Zeta) und Einzelwiderstand:

Zur schnellen und einfachen Bestimmung des Druckverlustes eines Leitungssystems kann man mit einer üblichen Luftgeschwindigkeit von ca. 6 m/s rechnen. Mit dem "Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzrohr" und dem "Rohrreibungsdiagramm Flexrohr" kann dabei aus dem vorgegebenen Volumenstrom (m³/h) und der gewählten Luftgeschwindigkeit (m/s) der dazu erforderliche Rohr- und Bauteildurchmesser (mm) ermittelt werden. Gleichzeitig läßt sich sowohl der zugehörige "Widerstandsbeiwert pro Meter" (-/m), der "Widerstand pro Meter" (Pa/m) als auch der "Dynamische Druck" (Pa) abgelesen werden. Aus der "Tabellenaufstellung Formstücke" können für die gängigen Bauteile unter der Annahme, daß in den betrachteten Anschlußquerschnitten eine Luftgeschwindigkeit von ca. 6 m/s vorliegt der zugehörige "Widerstandsbeiwerte" (-) als auch der "Widerstand" (Pa) entnommen werden. Als Kompromiß ist dabei bei den Verteiler-Bauteilen die für den Widerstand ungünstigste Kombination angenommen worden. Mit dem "Diagramm Dynamischer Druck D1" kann für eine vorgegebene Luftgeschwindigkeit der "Dynamische Druck" (Pa) abgelesen werden. Die eigentliche Berechnung erfolgt gemäß den Anleitungen aus der Beschreibung über die Berechnung des Druckverlustes.

Tabellenaufstellung Formstücke

Bauteil	Kz.		Zeta	d - P
			(- -)	(Pa)
Bogen 90°	B 90		0,40	8,64
T-Verteiler	TVE		0,53	11,45
T-Verteiler	TVE		0,90	19,44
T-Abzweig	TAB		0,40	8,64
T-Abzweig	TAB		1,80	38,88
T-Abzweig	TAB		0,60	12,96
T-Abzweig	TAB		1,24	26,78
Reduzierung	RED		0,10	2,16
Erweiterung	ERW		0,70	15,12

Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzrohr

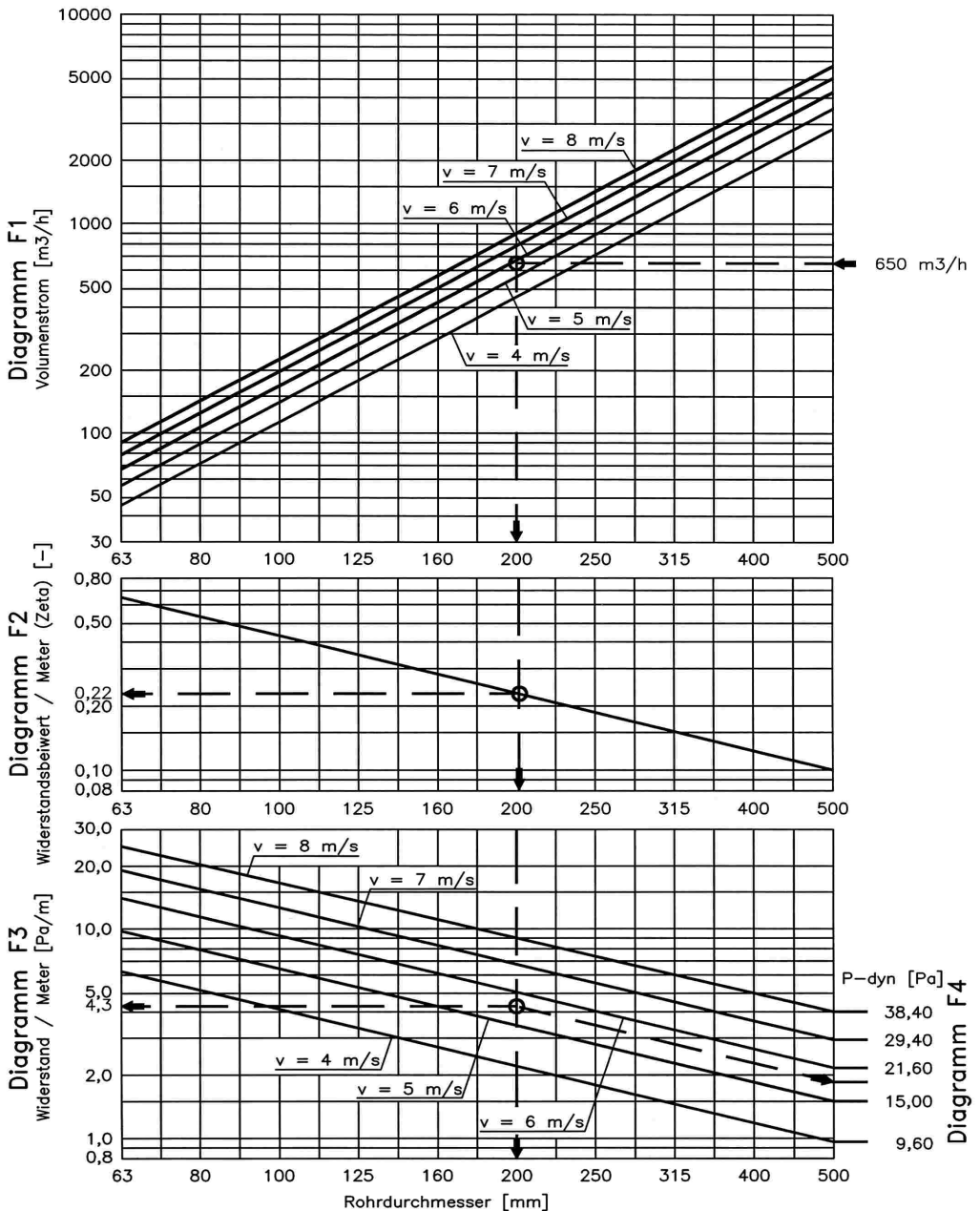


Beispiel:	Gegeben:	Volumenstrom	3850 m ³ /h
	Gefunden:	Rohrdurchmesser 500 mm	(Diagramm W1)
		Luftgeschwindigkeit 5,5 m/s	(Diagramm W3)
		Widerstandsbeiwert 0,028/m	(Diagramm W2)
		Widerstand 0,6 Pa/m	(Diagramm W3)
		Dynamischer Druck 18,2 Pa	(Diagramm W4)

Beispielbeschreibung für “Rohrreibungsdiagramm Wickelfalzrohre”

Mit dem im Beispiel vorgegebenen Volumenstrom von 3850 m³/h wird im Diagramm “W1” der Rohrdurchmesser mit 500 mm gefunden, der in der Nähe des Luftgeschwindigkeitsparameters von 6 m/s liegt. Die zugehörige Luftgeschwindigkeit wird im Diagramm “W3” mit 5,5 m/s ermittelt. Im Diagramm “W2” wird im Schnittpunkt des Luftgeschwindigkeitsparameters mit dem ermittelten Rohrdurchmesser der Widerstandsbeiwert mit 0,028/m abgelesen. Im Diagramm “W3” kann im Schnittpunkt des Luftgeschwindigkeitsparameters mit dem ermittelten Rohrdurchmesser der Widerstand/Meter mit 0,6 Pa/m abgelesen werden. Im Diagramm “W4” kann der zur Luftgeschwindigkeit zugehörige dynamische Druck mit 18,2 Pa ermittelt werden. Zwischenwerte zu den Luftgeschwindigkeiten sind durch interpolieren zu bestimmen.

Rohrreibungsdiagramm Flexrohr



Beispiel:	Gegeben:	Volumenstrom	650 m ³ /h
	Gefunden:	Rohrdurchmesser 200 mm	(Diagramm F1)
		Luftgeschwindigkeit 5,7 m/s	(Diagramm F3)
		Widerstandsbeiwert 0,22/m	(Diagramm F2)
		Widerstand 4,3 Pa/m	(Diagramm F3)
		Dynamischer Druck 19,8 Pa	(Diagramm F4)

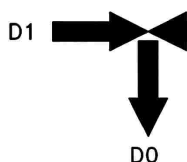
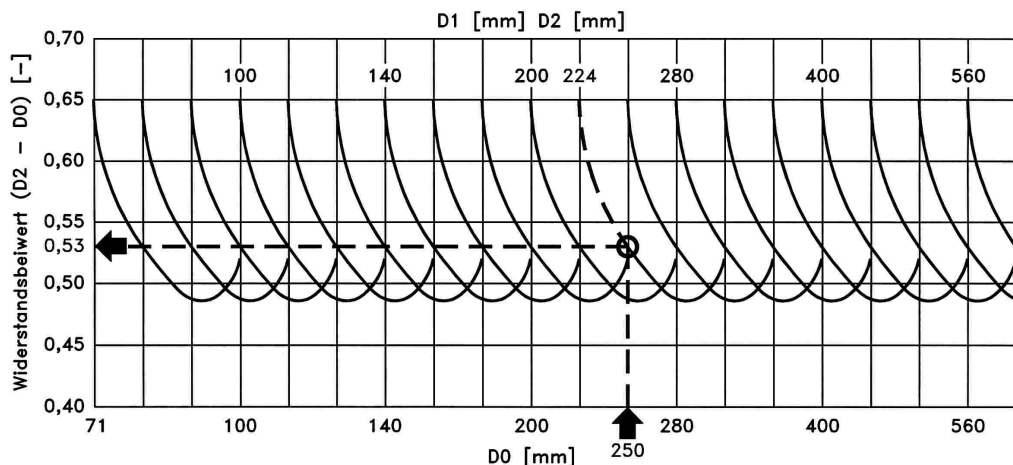
Beispielbeschreibung für “Rohrreibungsdiagramm Flexorohre”

Mit dem im Beispiel vorgegebenen Volumenstrom von 650 m³/h wird im Diagramm “F1” der Rohrdurchmesser mit 200 mm gefunden, der in der Nähe des Luftgeschwindigkeitsparameters von 6 m/s liegt. Die zugehörige Luftgeschwindigkeit wird im Diagramm “W3” mit 5,7 m/s ermittelt. Im Diagramm “F2” wird im Schnittpunkt des Luftgeschwindigkeitsparameters mit dem ermittelten Rohrdurchmesser der Widerstandsbeiwert mit 0,22/m abgelesen. Im Diagramm “F3” kann im Schnittpunkt des Luftgeschwindigkeitsparameters mit dem ermittelten Rohrdurchmesser der Widerstand/Meter mit 4,3 Pa/m abgelesen werden. Im Diagramm “F4” kann der zur Luftgeschwindigkeit zugehörige dynamische Druck mit 19,8 Pa ermittelt werden. Zwischenwerte zu den Luftgeschwindigkeiten sind durch interpolieren zu bestimmen.

Beispielbeschreibung des Diagramms "Verteiler V1"

Mit einem vorgegebenen Durchmesser "D0" von 315 mm auf der unteren horizontalen Skala wird im Schnittpunkt mit dem Parameter des Durchmessers "D1, D2" von 250 mm auf der vertikalen Achse ein Widerstandsbeiwert von 0,80 abgelesen.

Diagramm Verteiler V2



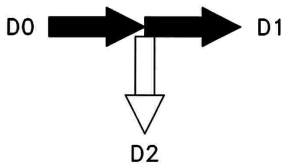
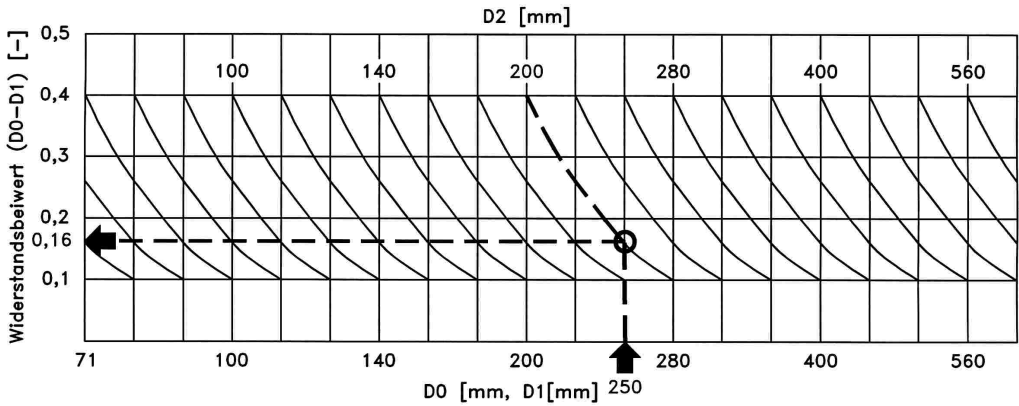
Beispiel:

Gegeben: Durchmesser (D0) 250 mm
 Durchmesser (D1 - D2) 224 mm
 Gefunden: Widerstandsbeiwert (Zeta) 0,53

Beispielbeschreibung des Diagramms "Verteiler V2"

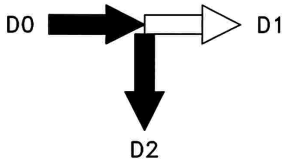
Mit einem vorgegebenen Durchmesser "D0" von 250 mm auf der unteren horizontalen Skala wird im Schnittpunkt mit dem Parameter des Durchmessers "D1, D2" von 224 mm auf der vertikalen Achse ein Widerstandsbeiwert von 0,53 abgelesen.

Diagramm T-Abzweig T1



Beispiel:

Gegeben: Durchmesser (D0 - D1) 250 mm
 Durchmesser (D2) 200 mm
 Gefunden: Widerstandsbeiwert (Zeta) 0,16

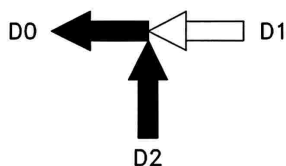
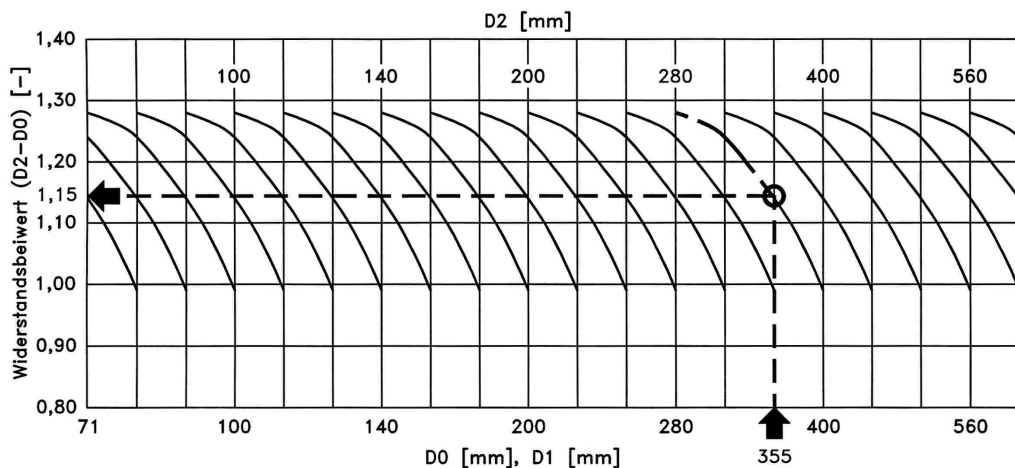


Zeta (D0 - D2) = 1,80

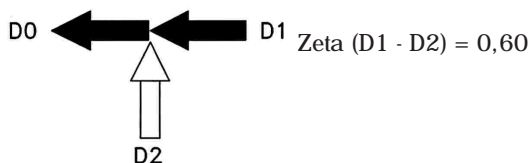
Beispielbeschreibung des Diagramms "T-Abzweig T1"

Mit einem vorgegebenen Durchmesser "D0, D1" von 250 mm auf der unteren horizontalen Achse wird im Schnittpunkt mit dem Parameter des Durchmessers "D2" von 200 mm der oberen horizontalen Achse auf der vertikalen Achse ein Widerstandsbeiwert von 0,16 abgelesen.

Diagramm T-Abzweig T2



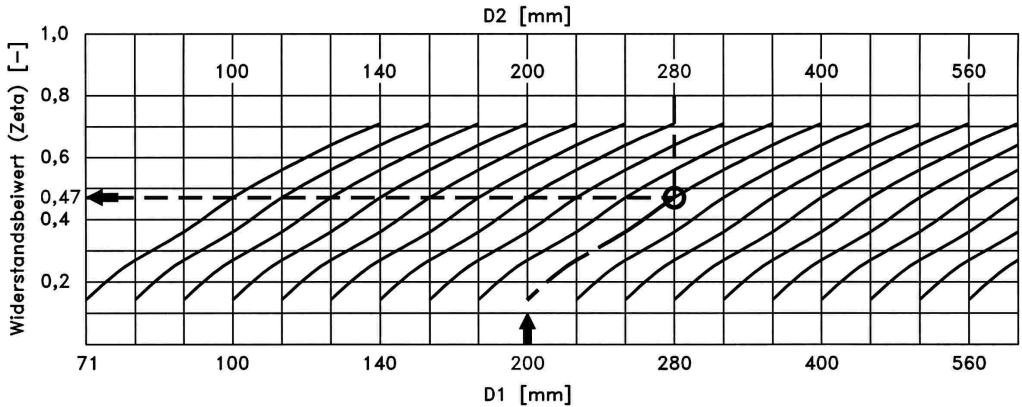
Beispiel: Gegeben: Durchmesser (D0 - D1) 355 mm
 Durchmesser (D2) 280 mm
 Gefunden: Widerstandsbeiwert (Zeta) 1,15



Beispielbeschreibung des Diagramms "T-Abzweig T2"

Mit einem vorgegebenen Durchmesser "D0" von 355 mm auf der unteren horizontalen Achse wird im Schnittpunkt mit dem Parameter des Durchmessers "D2" von 280 mm der oberen horizontalen Achse auf der vertikalen Achse ein Widerstandsbeiwert von 1,15 abgelesen.

Diagramm Erweiterung E1

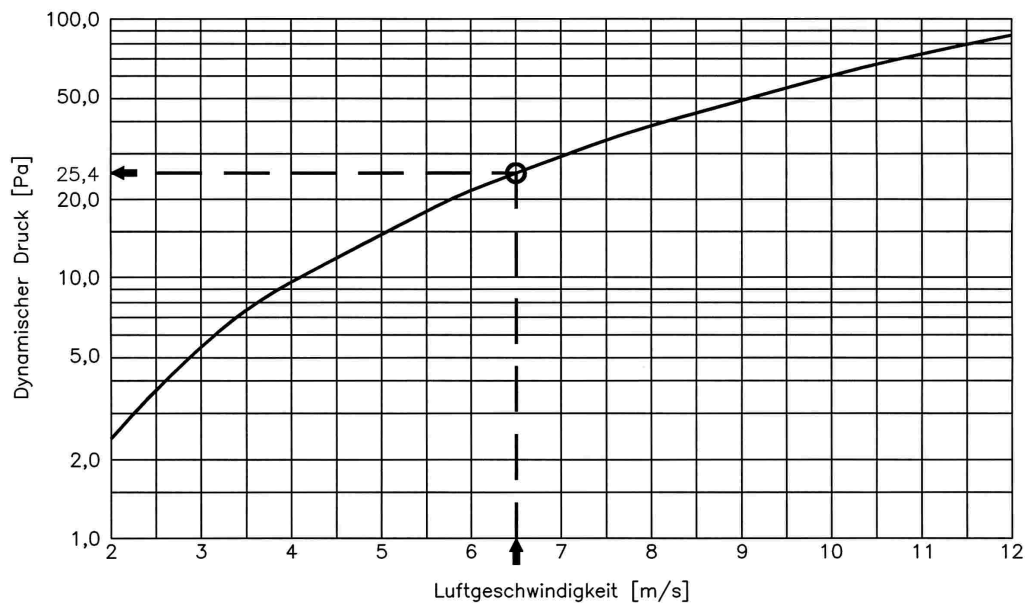


Beispiel: Gegeben: Eintrittsdurchmesser (D1) 200 mm
 Austrittsdurchmesser (D2) 280 mm
 Gefunden: Widerstandsbeiwert (Zeta) 0,47

Beispielbeschreibung des Diagramms “Erweiterung E1”

Mit einem vorgegebenen Durchmesser “D1” von 200 mm auf der unteren horizontalen Skala wird über den zugehörigen Parameter bis zum Schnittpunkt mit dem Durchmesser “D2” von 280 mm auf der oberen horizontalen Skala gefolgt. Auf der vertikalen Achse kann dabei der Widerstandsbeiwert von 0,47 abgelesen werden.

Diagramm dynamischer Druck D1



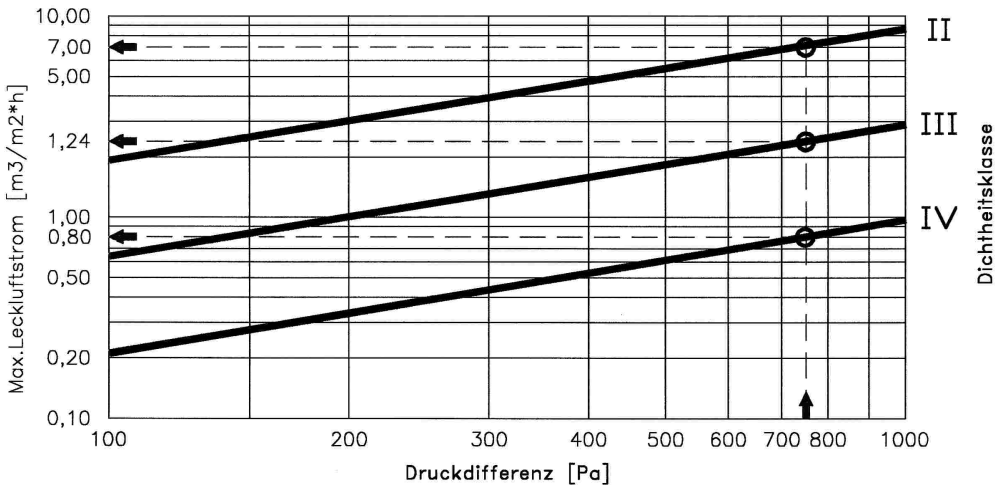
Beispiel: Gegeben: Luftgeschwindigkeit 6,5 m/s

Gefunden: Dynamischer Druck 25,4 Pa

Beispielbeschreibung des Diagramms “Dynamischer Druck D1”

Aus einer vorgegebenen Luftgeschwindigkeit von 6,5 m/s auf der horizontalen Achse wird im Schnittpunkt mit dem Parameter auf der vertikalen Achse der zugehörige dynamische Druck von 25,4 Pa abgelesen.

Diagramm Dichtheitsklassen für Leitungen



Beispiel: Gegeben: Druckdifferenz 750 (Pa)

Gefunden: Max. Leckluftstrom Klasse II = $7,00 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$
 Max. Leckluftstrom Klasse III = $1,24 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$
 Max. Leckluftstrom Klasse IV = $0,80 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$

Beispielbeschreibung für "Diagramm Dichtheitsklassen"

Mit der im Beispiel vorgegebenen Druckdifferenz von 750 Pa wird an den Schnittpunkten mit den Parametern der maximale Leckluftstrom der drei Dichtheitsklassen mit

Klasse II = $7,00 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$
 Klasse III = $1,24 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$
 Klasse IV = $0,80 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{h})$

gefunden.

Zur Ermittlung des für den zu prüfenden Leitungsabschnitt gültigen maximalen Leckluftstrom sind die gefundenen Werte mit der zugehörigen Leitungsoberfläche zu multiplizieren.

Beispiel: Leitungsdurchmesser 355 mm
 Leitungslänge 28,0 m
 Leitungsoberfläche 31,2 m^2

Maximaler Leckluftstrom für Klasse II = $218,6 \text{ m}^3/\text{h}$
 Maximaler Leckluftstrom für Klasse III = $38,7 \text{ m}^3/\text{h}$
 Maximaler Leckluftstrom für Klasse IV = $25,0 \text{ m}^3/\text{h}$

Bezogen auf das Beispiel, und unter Berücksichtigung einer Luftgeschwindigkeit von 6 m/s ergeben sich folgende prozentuale maximale Leckluftströme:

$$\text{Volumenstrom} = 2138 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Maximaler Leckluftstrom für Klasse II} = 10,22 \%$$

$$\text{Maximaler Leckluftstrom für Klasse III} = 1,81 \%$$

$$\text{Maximaler Leckluftstrom für Klasse IV} = 1,17 \%$$

Druck und Strömung

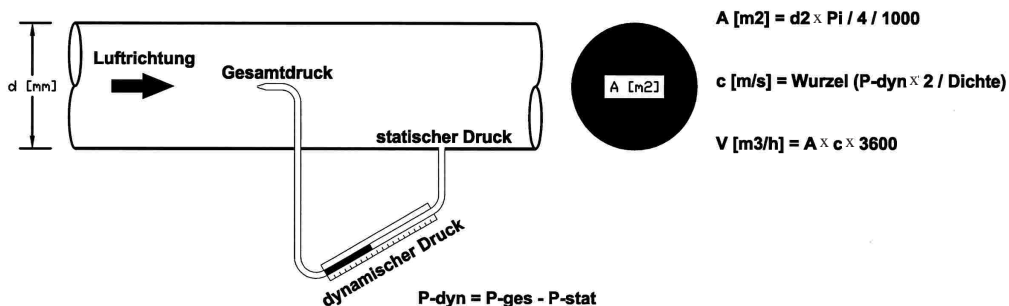
Widerstandsbeiwert (Zeta)

Der Widerstandsbeiwert (Zeta) ist eine dimensionslose Größe, welche auf die Strömungsverluste eines Bauteils bezogen ist. Mit dem dynamischen Druck der Strömung multipliziert ergibt sich die Druckdifferenz bzw. der Widerstand des Bauteils.

Beispiel: Bogen 90° Zeta = 0,4 $v = 6 \text{ m/s}$ $P_{\text{dyn}} = 21,6 \text{ Pa}$
 Druckdifferenz = $0,4 \times 21,6 = 8,64 \text{ Pa}$ bzw. $0,864 \text{ mm WS}$

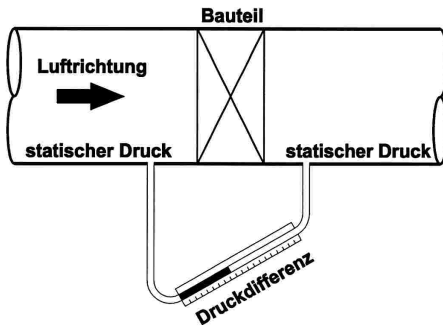
Druckverhältnisse in der Rohrleitung

Im nachfolgenden Bild sind die Zusammenhänge von Gesamtdruck, statischem Druck und dynamischem Druck dargestellt. Üblicherweise erfolgt eine Messung nicht durch zwei getrennte Messöffnungen, sondern mit einem Staurohr, bei welchem beide Anschlüsse zusammengefaßt sind. (Prandtl- oder Pitot-Staurohr) Wenn kein Mikromanometer mit zwei Messanschlüssen zur Verfügung steht, kann auch die Differenz zwischen zwei Einzelmessungen mathematisch gebildet werden. Der dynamische Druck ist unabhängig vom statischen Druckzustand (Über-Unterdruck) immer positiv.



Druckdifferenzen an Einbauten

Im nachfolgenden Bild ist dargestellt, wie die Druckdifferenz eines in ein Luftleitungssystem integrierten Bauteils ermittelt wird. Wenn die Messung mittels eines Staurohres erfolgt, wird die Differenz zwischen zwei Einzelmessungen des statischen Druckes gebildet. Dabei wird jeweils nur der Messanschluß für den statischen Druck verwendet. Wenn kein Mikromanometer mit zwei Messanschlüssen zur Verfügung steht, kann auch die Differenz zwischen zwei Einzelmessungen mathematisch gebildet werden.

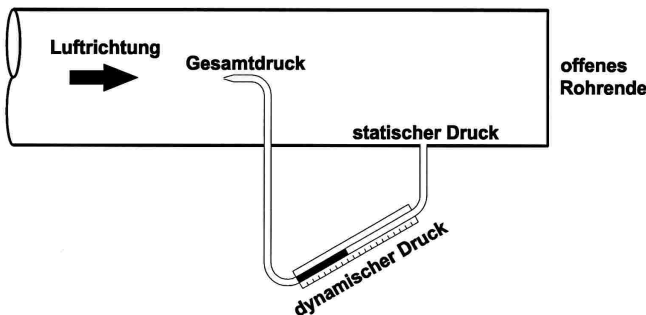


Zeta [-] = Druckdifferenz / P-dyn

Druckdifferenz [Pa] = Zeta × P-dyn

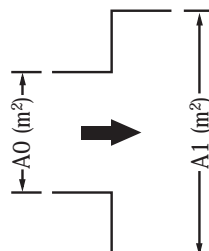
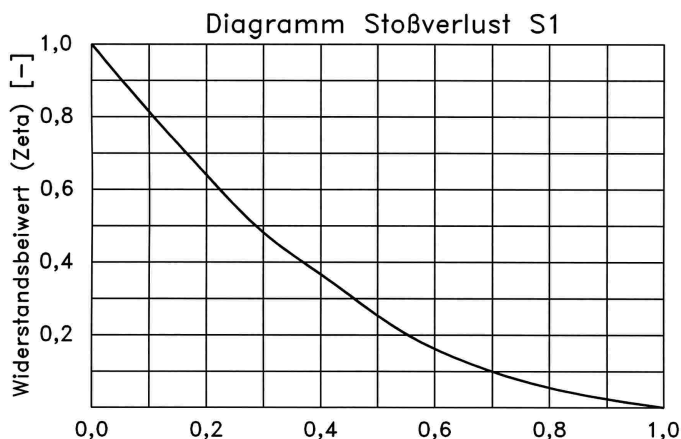
Stoßverlust

Im nachfolgenden Bild ist der sogenannte Stoßverlust dargestellt. Dieser wird wirksam, wenn die Strömung aus einem Leitungssystem abrupt in einen größeren Querschnitt eintritt. Der Zeta-Wert ist abhängig von dem Querschnittsverhältnis zwischen dem kleineren und dem größeren Querschnitt. Ab einem Verhältnis von 0,03 ist der Zeta-Wert 1,0.



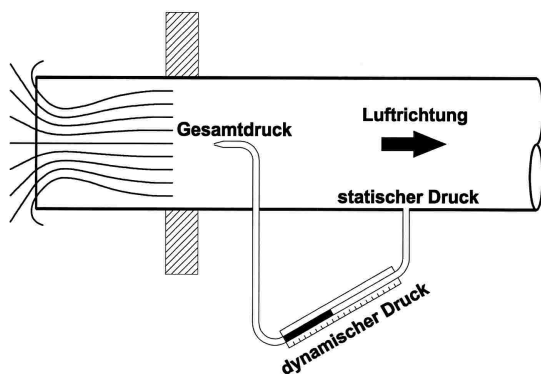
Stoßverlust = dynamischer Druck

Diagramm Stoßverlust S1



Einströmverluste 1

Im nachfolgenden Bild ist der Einstromzustand der Luft in ein frei in einen größeren Raum hineinragende Rohrleitung dargestellt. Durch die allseitige Anströmung (Kugelform) bildet sich im Anfangsbereich der Rohrleitung eine sehr stark ausgebildete Kontraktion (Einschnürung). Durch die kontraktionsbedingte Übergeschwindigkeit entsteht eine Druckdifferenz etwa in der Größe des dynamischen Druckes. Sinngemäß gilt das gleiche für rechteckige Kanalleitungen.



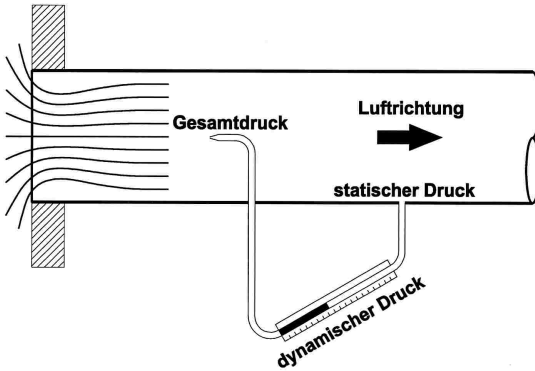
Einströmverlust durch Kontraktion

$\zeta (-) = \text{ca. } 1,00$

Einströmverlust = $\zeta \times P_{\text{dyn}}$

Einströmverluste 2

Im nachfolgenden Bild ist der Einstromzustand der Luft in eine an eine Wand bündig angeschlossene Rohrleitung dargestellt. Durch die allseitige Anströmung (Halbkugelform) bildet sich im Anfangsbereich der Rohrleitung eine stark ausgebildete Kontraktion (Einschnürung). Durch die kontraktionsbedingte Übergeschwindigkeit entsteht eine Druckdifferenz etwa in der Größe des halben dynamischen Druckes. Sinngemäß gilt das gleiche für rechteckige Kanalleitungen.



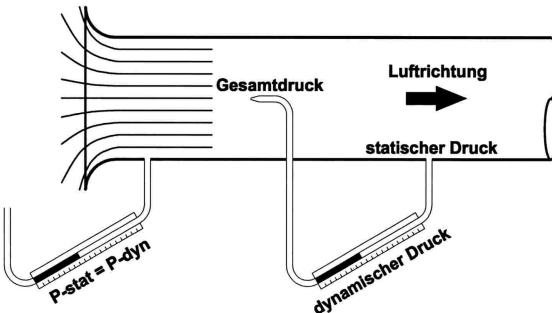
Einströmverlust durch Kontraktion

Zeta (-) = ca. 0,45

Einströmverlust = Zeta x P-dyn

Einströmverluste 3

Im nachfolgenden Bild ist der Einstromzustand der Luft in eine mit einem verrundeten Einlaufteil versehene Rohrleitung dargestellt. Durch die an die Verrundung angelegte Strömung bildet sich im Anfangsbereich der Rohrleitung praktisch keine merkliche Kontraktion (Einschnürung). Die Einstromung in die Rohrleitung kann als verlustlos angenommen werden. Diese Anschlußart stellt gegenüber den in den beiden vorherigen Bildern dargestellten Möglichkeiten die beste Lösung dar. Sinngemäß gilt das gleiche für rechteckige Kanalleitungen. Bei runden Leitungen besteht darüber hinaus die Möglichkeit, durch Messung des statischen Unterdruckes nach dem verrundeten Einlaufteil den Volumenstrom relativ genau zu bestimmen. Der gemessene Unterdruck entspricht dem dynamischen Druck in der Rohrleitung. Für die Berechnung des Volumenstromes ist lediglich der Rohrquerschnitt mit einem Faktor zu bewerten. (z.B. 0,96 (100 mm ø), 0,98 (250 mm ø))



Einströmverlust durch Kontraktion

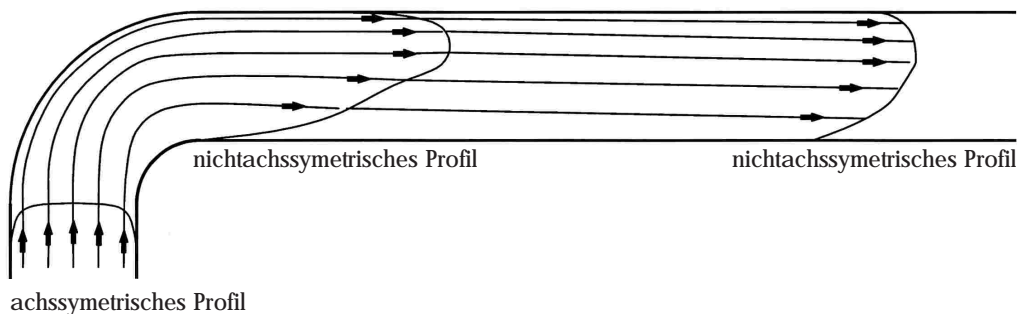
Zeta (-) = ca. 0,00

$$v \text{ (m/s)} = \sqrt{(P\text{-dyn} \times 2 / \text{spez. Gewicht})}$$

$$V \text{ (m}^3\text{/h)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times v \text{ (m/s)} \times 3600$$

Strömungsprofile

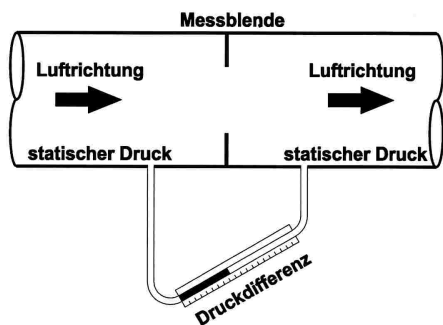
Im nachfolgenden Bild sind typische unterschiedliche Strömungsprofile, wie diese bei einem Bogen auftreten dargestellt.



Bauteile zur Volumenstrommessung

Meßblende

Die Meßblende stellt ein einfaches Bauteil zum festen Einbau in ein Leitungssystem dar. Damit lassen sich während des Betriebes der Anlage Kontrollmessungen durchführen. Bedingt durch die Art der Wirkdruckerzeugung entsteht an der Meßblende ein hoher Druckverlust. Zum Erreichen einer genügenden Genauigkeit ist bei einseitigem Meßanschluß eine gerade Anlaufstrecke erforderlich.

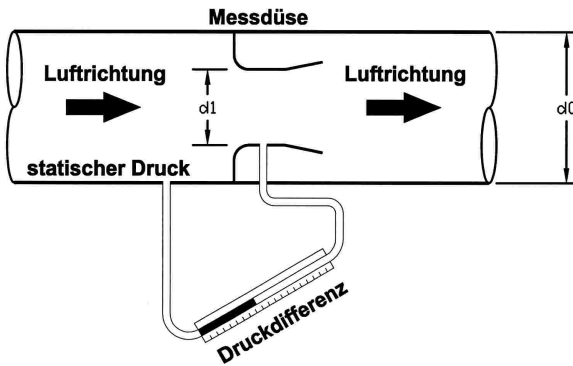


Vorteile: Einfache kostengünstige Herstellung möglich

Nachteile: Hoher Druckverlust bei ausführungsabhängiger Genauigkeit
Gerade Anlaufstrecke bei einseitiger Druckentnahme (sy. Strömungsprofil)

Meßdüse

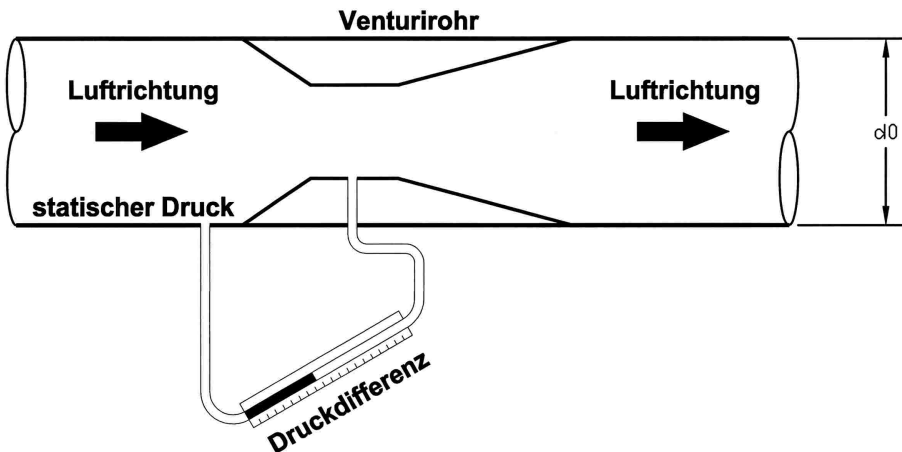
Die Meßdüse stellt ein Bauteil dar, mit dem sich gute Meßergebnisse erzielen lassen. Dabei ist der erzeugte Wirkdruck identisch mit dem dynamischen Druck im Düsenquerschnitt. Wenn am Umfang verteilte Meßanschlüsse zum Ausgleich mit einer Ringleitung verbunden sind, werden selbst unsymmetrische Strömungsprofile relativ genau erfaßt. Die entstehende Druckdifferenz ist günstiger als bei einer vergleichbaren Meßblende. Eine Anwendung in der Praxis ist bei Volumenstromreglern mit Hilfsenergie.



$$\text{Druckdifferenz} = P_{\text{dyn}}(d1)$$

Venturirohr

Das Venturirohr stellt sowohl das aufwendigste als auch das genaueste Bauteil zur Messung von Volumenströmen dar. Darüber hinaus ist durch den Druckrückgewinn bedingt ein Druckverlust praktisch nicht vorhanden. Aufgrund des sehr hohen Preises beschränkt sich der Einsatz auf die Anwendungsfälle, bei denen eine hohe Genauigkeit unabdingbar ist (z.B. Verfahrenstechnik).



Montagevorteile

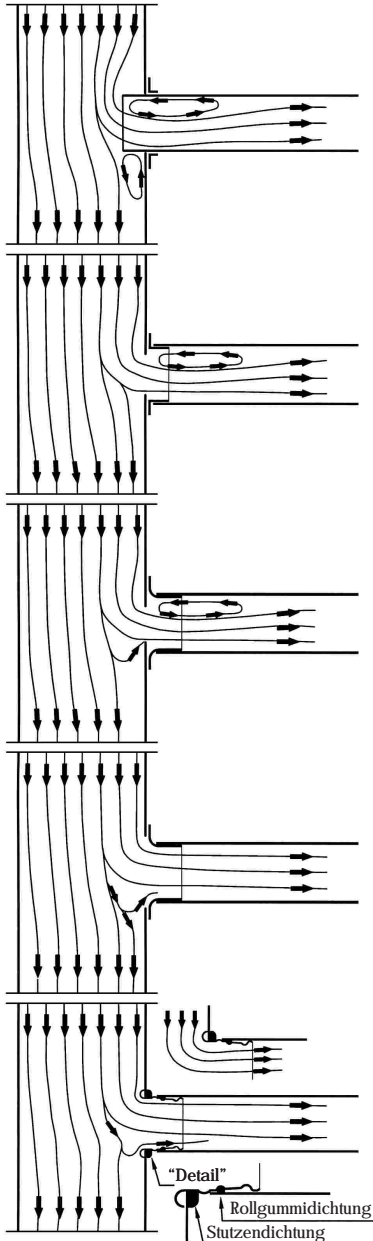
Anschlußherstellung auf der Baustelle

Bei rechteckigen Kanalleitungen, an welchen runde Rohrleitungsanschlüsse seitlich vorgesehen sind werden diese zur Vermeidung von Transportschäden oft erst auf der Baustelle hergestellt. Dabei kann es bei Nichtbeachtung der strömungstechnischen Anforderungen zu Ursachen für spätere Reklamationen kommen. Ein ordentlich ausgeführter Anschluß hat sowohl strömungstechnische als auch akustische Vorteile. Akustische Störungen, welche auf unsachgemäßen Anschlüssen basieren werden erst nach Inbetriebnahme einer lufttechnischen Anlage festgestellt. Dabei ist die eigentliche Ursache nicht mehr zu beheben und nur durch Einbau eines zusätzlichen Schalldämpfers zu kompensieren. Dies stellt aber einen zusätzlichen finanziellen Aufwand dar, welcher mit Sicherheit vermeidbar wäre.

In der nachfolgenden Darstellung unterschiedlicher Anschlußsituationen ist auf die möglichen Fehler hingewiesen.

Anschlußsituationen

Wertung



- Anschluß ragt in Hauptleitung
- hoher Druckverlust durch Kontraktion
- Geräusche durch Abrißkanten
- Sekundärwirbel im Abgangsteil

- Anschlußöffnung zu klein
- hoher Druckverlust durch Kontraktion
- Geräusche durch Abrißkanten
- Sekundärwirbel im Abgangsteil

- Anschlußöffnung zu klein
- verrundetes Anschlußteil unwirksam
- Geräusche durch Abrißkanten
- Sekundärwirbel im Abgangsteil

- Anschluß an verrundetem Einlaufteil
- Strömung weitestgehend angelegt
- günstige Ausführung

- dichtes Anschlußteil mit Rollgummidichtung
- Einlaufteil nach Innen erhaben
- Einlaufteil allseitig verrundet
- günstige Ausführung

Qualitätsbeschreibung der Rollgummidichtung

Für die Auswahl der Komponenten für eine Rohrleitungsverbindungsstelle bedarf es einer technisch-physikalischen Auswertung von umfangreichen Einzelversuchen. Es wird zum Beispiel an das Dichtmittel die Anforderung einer guten Gleitfähigkeit bei gleichzeitiger garantierter Dichtheit und Wiederlösbarkeit gestellt. Auch das Verhalten des verwendeten Materials bezüglich der Alterungsbeständigkeit muß bei der Auswahl mitentscheidend sein. Bei der Rollgummidichtung wird dem weitestgehend Rechnung getragen. Die Gleitfähigkeit des verwendeten Materials hat keinen Einfluß, da beim Fügen und Lösen der Verbindungsstelle keine gleitende Reibung, sondern eine rollende Reibung zusammen mit einer Materialwalking stattfindet.

Durch die behaute, geschlossenzellige Struktur des verwendeten Materials ist eine Beschädigung so gut wie ausgeschlossen. Durch den flach verformten Dichtring in der Verbindungsstelle erfolgt zwangsläufig eine radiale Zentrierung der beiden zu verbindenden Teile zueinander. Exzentrizität durch einen Gewichtseinfluß bei einer horizontal verlegten Leitung ist damit ausgeschlossen. Im Gegensatz dazu kann es unter gleichen Voraussetzungen bei Ausnutzung der beiden Toleranzgrenzen zu einer exzentrischen Lage der beiden zu verbindenden Teile zueinander kommen, was die Dichtigkeit im Hinblick auf bestehende Druckdifferenzen negativ beeinflusst. Auch Sicherungen gegen axialen Schub (Blindniet oder Blechtreibschraube) können den gleichen Effekt bewirken (einseitige Verlagerung der beiden Teile zueinander). Außerdem gelangen dabei Bohrspäne in die Rohrleitung und stellen eine Verschmutzung dar, welche aufgrund des Eigengewichtes nicht mit dem Luftstrom entfernt wird. Ein weiterer Vorteil der Rollgummidichtung ist das einfache Aufbringen des lose mitgelieferten Dichtringes kurz vor Herstellung der Verbindung auf der Baustelle. Dadurch sind Beschädigungen beim Transport und der Lagerung auf der Baustelle ausgeschlossen.

Im Gegensatz dazu werden Lippendichtungen bereits werkseitig auf die Verbindungs- und Formteile aufgebracht und bedürfen einer besonderen Prüfung des verwendeten Materials bezüglich mechanischer Belastbarkeit und Alterungsbeständigkeit. Auch bei Verbindungen von auf der Baustelle abgelenkten Rohren (gratbehaftet) wird die Rollgummidichtung nicht beschädigt, wogegen bei einer Lippendichtung mit einer Beschädigung gerechnet werden muß. Durch die einfache Wiederlösbarkeit einer Leitungsverbindung mit Rollgummidichtung bieten sich bei der Montage Möglichkeiten an, welche mit Lippendichtungen nicht oder nur schlecht anwendbar sind. So können zum Beispiel bei Montageunterbrechungen bereits verlegte Leitungsabschnitte mit Enddeckeln verschlossen werden, die bei Wiederaufnahme der Montage wieder leicht geöffnet werden können. Dies ist besonders bei Hygieneanlagen angebracht, da jegliche Verschmutzung des Leitungsinnen verhindert werden muß. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist für Revisions- und Reinigungsöffnungen gegeben. So kann zum Beispiel ein T-Abzweigstück als Revisionsöffnung genutzt werden, indem man den seitlichen Abgang mit einem wiederlösbaren Enddeckel versieht. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit bietet sich bei einem Dichtigkeitsnachweis von Teilabschnitten eines Leitungssystems. Dabei kann ein vorbereiteter Enddeckel als Prüfanschluß verwendet werden.

Durch das einfache Zusammenfügen der Verbindungsstelle einer Rohrleitung können die Montagekosten erheblich gesenkt werden. Durch das Einrasten eines Rollgummidichtringes in der Endnute nach erfolgtem Zusammenfügen der Verbindungsstelle sind die beiden verbundenen Teile in ihrer Lage zueinander fixiert, was bei einer anderen Lösung in dieser Form nicht gegeben ist. Die Benetzung der verwendeten Dichtung durch mit Reinigungs- oder Desinfektionsmitteldämpfe angereicherte

Luft, beschränkt sich bei der Rollgummidichtung auf einen geringen radialen Spalt wogegen zum Beispiel bei einer Lippendichtung die Benetzung großflächiger erfolgt. Der in der Endnute zusammengepreßte Dichtring kann dabei als Pfropfen angesehen werden. Die Alterungsbeständigkeit wird dadurch wesentlich beeinflußt. Die Rollgummidichtung entspricht nicht dem bisher bekannten Standard und stellt eine entscheidende Neuentwicklung zu Qualitätsverbesserungen für Rohrleitungssysteme dar. Mitentscheidend für diese Entwicklung ist, daß durch moderne Fertigungsmethoden die erforderlichen DIN-Toleranzen sicher eingehalten werden können. So werden zum Beispiel Wickelfalzrohre innenkalibriert hergestellt, wobei eine Schmierung der Rohrrinnenfläche mit Gleitöl nicht erforderlich ist. Eine mit Öl benetzte Rohrrinnenwand bindet Schmutzpartikel, was in einem Luftleitungssystem zu vermeiden ist. Die Form- und Verbindungsteile werden durch moderne Schweißverfahren (Laserschweißen) ohne Überlappung und ohne Zusatzmittel sehr maßgenau gefertigt. Durch eine Serienfertigung und einer Zwischenlagerung in einem modernen Hochregallager ist zum Einen eine kostengünstige Fertigung und zum Anderen eine kurze Lieferzeit möglich. Gängige Standardgrößen sind normalerweise ab Lager lieferbar.



Berechnung des Leitungswiderstandes (Beispiel 1 A)

Pos.	Bauteil	Abmessungen	Einheit	V	c	P-dyn	Zeta/Einh.	Zeta/ges.	Wid./Einh.	Wid.ges
	(Kurzz)	(mm) (d), (axb)	(m),(Stck)	(m³/h)	(m/s)	(Pa)	(--)	(--)	(Pa/m(St))	(Pa)
2.1	Wickelfalzrohr	560	2,0	5600	6,00	21,60	0,025	0,050		
2.2	Bogen 90°	560	1,0				0,400	0,400		
2.3	Wickelfalzrohr	560	3,0				0,025	0,075		
2.4	Bogen 90°	560	1,0				0,400	0,400		
2.5	Wickelfalzrohr	560	7,0				0,025	0,175		
2.6	Bogen 90°	560	1,0				0,400	0,400		
2.7	Wickelfalzrohr	560	7,0				0,025	0,175		
2.8	T - Verteiler	560/500	1,0				0,800	0,800		
								2,475		53,46
2.9	Wickelfalzrohr	500	4,0	4000	6,00	21,60	0,030	0,120		
2.10	T - Abzweig	500/224	1,0				0,400	0,400		
								0,520		11,23
2.11	Reduzierung	500/450	1,0	3200	6,00	21,60	0,100	0,100		
2.12	Wickelfalzrohr	450	3,0				0,034	0,102		
2.13	T - Abzweig	450/224	1,0				0,400	0,400		
								0,602		13,00
2.14	Reduzierung	450/400	1,0	2400	6,00	21,60	0,100	0,100		
2.15	Wickelfalzrohr	400	3,0				0,040	0,120		
2.16	T - Abzweig	400/224	1,0				0,400	0,400		
								0,620		13,39
2.17	Reduzierung	400/315	1,0	1600	6,00	21,60	0,100	0,100		
2.18	Wickelfalzrohr	315	6,0				0,053	0,318		
2.19	T - Abzweig	315/224	1,0				0,800	0,800		
								1,218		26,31
2.20	Wickelfalzrohr	224	2,0	800	6,00	21,60	0,080	0,160		
2.21	Reduzierung	224/200	1,0				0,100	0,100		
2.23	Schalldämpfer	200 ø x 1000	1,0				0,200	0,200		
2.24	Alu - Flexrohr	200	3,0				0,200	0,600		
								1,060		22,90
2.22	Volumenstromregler	200	1,0	(Herstellerangaben)						80,00
2.25	Luftauslaß			(Herstellerangaben)						35,00
										255,29
Projekt: Muster 4711		Etage: 1. OG		Ort: Musterstadt						
Auftrag:		Datum: 25.07.2000		Zu-/Abluft:		Zuluft				
Name: Mustermann						Blatt: 1A				

Berechnung des Leitungswiderstandes (Beispiel 1 B)

[illegible]

Liste der verwendeten Begriffe und Dimensionen

Begriff	Formelzeichen	Dimension
Außenlufrate pro Person		m ³ /h
Luftwechselzahl		1/h
Raumabmessungen	L, B, H	m
Raumvolumen		m ³
Volumenstrom	V	m ³ /h
Volumenstrom	V	m ³ /s
Luftgeschwindigkeit	v	m/s
Dichte der Luft	ρ (Rho)	1,2 kg/m ³
Temperatur	t	°C
Temperaturdifferenz	Δt	K
Absolute Luftfeuchtigkeit	x	g/kg
Relative Luftfeuchtigkeit	φ	% rF
Statischer Druck	p	Pa
Druckdifferenz	Δp	Pa
Dynamischer Druck	P _d	Pa
Widerstandsbeiwert	ζ (Zeta)	(-)
Wärmeleistung	Φ (W)	W, kW
Spezifische Wärmekapazität	c _p	W/(kg x K)
Spezifische Wärmekapazität	c-p	kcal/(kg x K)
Spezifische Wärmemenge	h	W/kg
Spezifische Wärmemenge	h	kcal/kg
Wärmedurchgangszahl	α	W/(m ² x K)
Leitungsdurchmesser	d	mm
Leitungsabmessungen	a, b	mm
Gleichwertiger Durchmesser	D _{gl}	mm
Leitungsquerschnitt	A	m ²
Antriebsleistung	P	kW
Wirkungsgrad	η	%
Schalldruckpegel	L	dB
Schalleistungspegel	L _W	dB
Schalldruckpegel A-bewertet	L-A	dB(A)



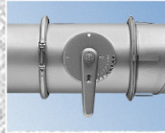
Innovative Klimakomponenten die Ihre Lohn- und Lohnnebenkosten bei der Montage erheblich senken



1. Volumenstromregler mit
Rollgummidichtung
- elektrische Verstellung -



2. Absperrklappe selbstarretierend
mit schraubenlosem Flanshsystem
- keine Werkzeuge zur Einstellung notwendig -



3. Drosselklappe selbstarretierend
mit schraubenlosem Flanshsystem - keine Werkzeuge
zur Einstellung und zum Verbinden notwendig -



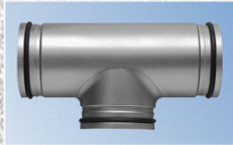
4. Bogen - lasergeschweißt - mit
Rollgummidichtung



5. Enddeckel für Rohrabschluß
- Rohr und Fittingmaß -



6. Drosselklappe selbstarretierend mit Isolierung
und Rollgummidichtung
- keine Werkzeuge zur Einstellung notwendig -



7. T-Stück - lasergeschweißt - mit
Rollgummidichtung



8. Absperrklappe selbstarretierend
mit Rollgummidichtung
- keine Werkzeuge zur Einstellung notwendig -



9. Volumenstromregler mit
Rollgummidichtung
- pneumatische Verstellung -



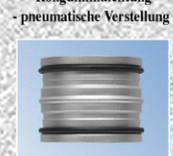
10. Sattelstücke - gepreßt -
mit Rollgummidichtung



11. Telefoneschalldämpfer - flexibel -
mit Rollgummidichtung



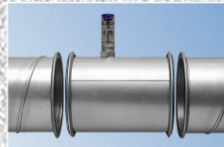
12. Flansch - Rohrverbindung -
mit Dichtung (montiert)
- keine Werkzeuge zur Verbindung notwendig -



13. Rollgummi - Steckverbinder



14. Drosselklappe selbstarretierend
mit Rollgummidichtung
- keine Werkzeuge zur Einstellung notwendig -



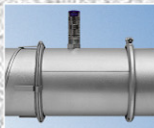
15. Volumenstromregler selbsttätig - regelnd
mit schraubenlosem Flanshsystem -
- Einfügung in Rohrleitung -



16. schraubenlose Flansch-
verbindung mit Dichtung



17. Absperrklappe
mit Rollgummidichtung
- elektrische Verstellung -



18. Volumenstromregler selbsttätig - regelnd
mit schraubenlosem Flanshsystem
- Einbindung in Rohrleitungssystem -



19. Reduzierung mit Rollgummidichtung
- montagebereit -



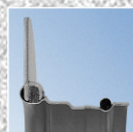
20. Drosselklappe selbstarretierend
mit schraubenlosem Flanshsystem und Losflanschen
- keine Werkzeuge zur Einstellung notwendig -



21. Volumenstromregler selbsttätig - regelnd
Rohrkörper - lasergeschweißt -
mit schraubenlosem Flanshsystem



22. Einbausituation T-Stück mit
Rollgummidichtung



23. Schnitt durch Kanalwandung -
Anschluß des Kanalstutzens
mit Rollgummidichtung



24. Kanalanschluß mit Rollgummidichtung
kein Schrauben oder Nieten und Abdichten
notwendig - Schnitt siehe Abb. 23