

## Thermozone® Technologie Optimierte Luftschleier

**Seit dreißig Jahren entwickeln wir Luftschleier, die den hohen Anforderungen des skandinavischen Klimas gerecht werden, und verfügen somit über einzig artige Erfahrungen, die wir bei der Herstellung von Luftschleiern mit optimalem Türschutz einsetzen. Dank der Thermozone-Technologie kann die Leistung exakt so eingestellt werden, dass ein Luftschleier entsteht, der einerseits eine wirksame Trennung und andererseits einen guten Durchgang ermöglicht.**

Thermozone-Luftschleier besitzen hervorragende Eigenschaften in folgenden Bereichen:

- Ausrichtung des Volumenstroms
- Leistung
- Geräuschpegel

### Ausrichtung des Volumenstroms

Ausgehend von fünfzig Jahren Erfahrung mit Lüftungstechnologie haben wir Luftschleiern mit möglichst geringem Geräuschpegel und minimalen Turbulenzen sowie ohne Effizienzeinbußen entwickelt. Mit Hilfe unserer erfahrenen Techniker sowie mit langjähriger Erfahrung und einem der modernsten Labors für Luft und Schall in Europa haben wir das gefunden, was wir als optimale Kombination aller Komponenten des Luftschleiers betrachten.

### Leistung

Für die Leistung eines Luftschleiers sind Impuls

und Geschwindigkeit der Luft sehr bedeutende Faktoren. Der Impuls kann auf verschiedene Arten erzeugt werden. Jedoch bedingt ein höherer Impuls nicht notwendigerweise eine höhere Effizienz des Luftschleiers. Auf dem Markt sind unterschiedliche Philosophien vertreten. Wir sind jedoch der Meinung, eine gute Balance zwischen Luftdruck und Luftgeschwindigkeit gefunden zu haben, die für optimale Effizienz sorgt. Zu beachten ist dabei, dass eine große Geschwindigkeit zu hohem Geräuschpegel und starken Turbulenzen führt, während ein starker Volumenstrom ein hohes Maß an Heizwärme erfordert.

### Geräuschpegel

Frico richtet seine Aufmerksamkeit vor allem auf den Geräuschpegel. Wir arbeiten ständig an Verbesserungen. Ein optimaler Geräuschpegel lässt sich auch durch die Art der verwendeten Gebläse und die Optimierung des Luftstroms erreichen. Schall ist eine wichtige Umgebungsbedingung, ebenso wichtig wie gute Beleuchtung, Luft guter Qualität und Ergonomie. Mit dem steigenden Umweltbewusstsein wachsen auch die Anforderungen an niedrige Geräuschpegel. Wir bei Frico haben unseren Teil der Verantwortung übernommen und die Einflüsse unserer Produkte auf die Lärmbelastung insgesamt begrenzt. Weitere Informationen zum Geräuschpegel finden Sie auf Seite 5.

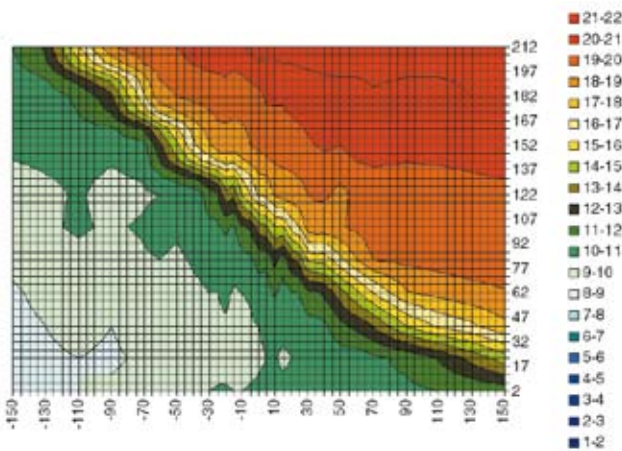
Auf den folgenden Seiten erfahren Sie mehr über die Tests, mit denen sich die Thermozone-Technologie veranschaulichen lässt.



## Die unsichtbare Tür

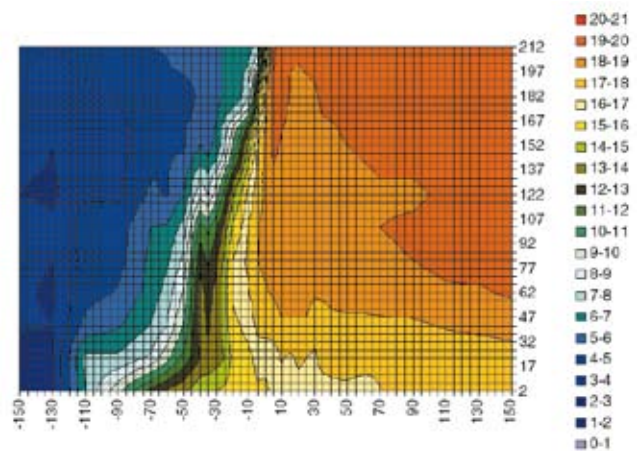
Die nachgestellte Umgebung war ein Kühlraum mit Milchprodukten eines Lebensmittelgeschäfts. Der Raum hatte eine direkte Verbindung zu einem normal temperierten Raum. Mit dem Türluftschleier wurde unter unterschiedlichen Bedingungen die Temperatur an verschiedenen Punkten im Luftstrom gemessen. Die folgenden Diagramme zeigen, wie der Luftstrom die Temperatur in den verschiedenen Bereichen um die Öffnung beeinflussen kann.

Die dunkelrote Farbe bedeutet Raumtemperatur, die dunkelblaue Farbe zeigt die Kühlraumtemperatur. Der Wert auf der x-Achse zeigt den Abstand in cm vom Gerät, der Wert auf der y-Achse den Abstand in cm vom Fußboden an. An der rechten Seite jedes Diagramms befindet sich eine Aufstellung darüber, welche Farbe welchem Temperaturwert zuzuordnen ist.



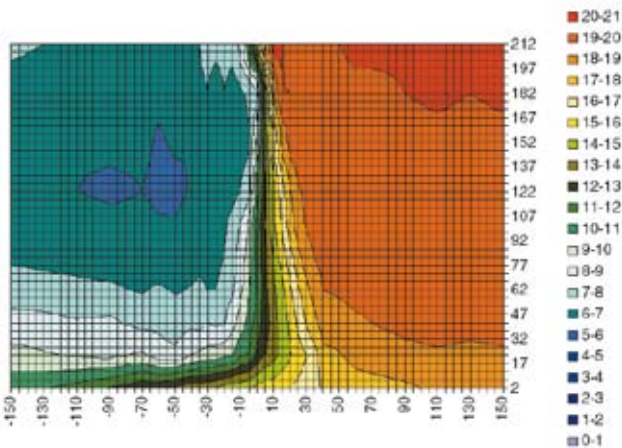
### Öffnung ohne Luftschleier

Bei einer ungeschützten Tür kann man erkennen, wie die kalte Luft durch die Öffnung entweicht, mit dem Ergebnis, dass der Kühlraum sich erwärmt.



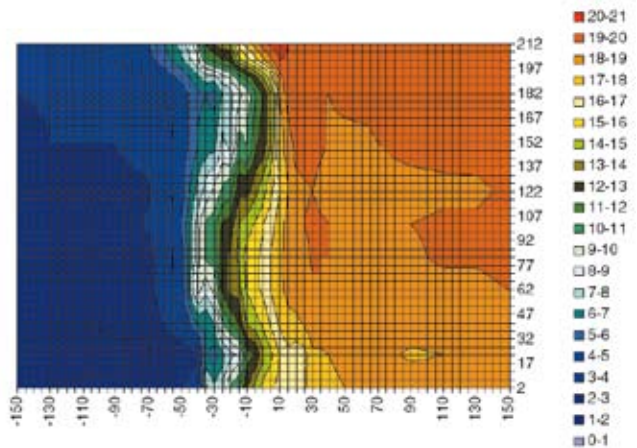
### Öffnung mit Luftschleier, Winkel falsch eingestellt

Wenn der eingestellte Winkel zu klein ist, strömt warme Luft ein und verursacht einen Temperaturanstieg im Kühlraum, was zu Energieverlusten führt.



### Öffnung mit Luftschleier, Luftgeschwindigkeit zu hoch

Bei einem Luftschleier ist der Luftstrom ein wichtiger Faktor für ein gutes Ergebnis. Eine zu hohe Geschwindigkeit führt zu Energieverlusten und zu einem Anstieg der Temperaturen im Kühlraum.



### Öffnung mit korrekt eingestelltem Luftschleier

Bei korrekt installiertem Luftschleier erfolgt eine scharfe Trennung zwischen den Temperaturzonen.

Der Test wurde von der schwedischen Technischen Universität Malmö mit dem Thermozone ADA Cool, Modell ADAC120 durchgeführt.

## Leistung

**Die Trennung zwischen Klimazonen, die sich nur in ihrer Temperatur unterscheiden, ist die leichtere Aufgabe. Mit den Belastungen umzugehen, denen eine Öffnung bezüglich Wind und Druckunterschieden infolge ungleichmäßiger Luftzirkulation (mehr dazu auf den Seiten 190-191) ausgesetzt ist, ist weit schwieriger. Unser Ziel besteht darin, diesen Problemen mit einer optimalen Balance zwischen Luftstrom und Luftgeschwindigkeit zu begegnen. Dadurch würde nicht nur der Luftschleier weit effizienter, es sind auch weitere Vorteile damit verbunden, wie zum Beispiel ein besseres Innenraumklima mit weniger Lärmbelastung und Turbulenzen. Gleichzeitig sinken auch die Energiekosten.**

Auf dem Markt sind unterschiedlich Philosophien vertreten. Aufgrund unserer Tests sind wir jedoch der Meinung, eine gute Balance gefunden zu haben, die bei niedrigem Energieverbrauch für optimale Effizienz sorgt. Bei hohen Geschwindigkeiten ist viel Energie nötig, um den erforderlichen Druck aufzubauen. Starke Luftströme benötigen ebenfalls sehr viel Energie.

Für die Leistung eines Luftschleiers sind Impuls und Geschwindigkeit der Luft sehr bedeutende Faktoren.

Der Impuls ist der Massenstrom (Luftvolumen x Dichte), multipliziert mit der Geschwindigkeit. Er kann auf unterschiedliche Arten erzeugt werden. Ein Gerät mit hoher Luftgeschwindigkeit und geringem Volumenstrom kann denselben Impuls erzeugen wie ein Gerät mit niedriger Luftgeschwindigkeit und starkem Luftstrom.

Werden Luftstrom und Luftgeschwindigkeit optimiert, kann der Luftschleier eine bessere Leistung erzielen als Geräte mit höherem Impuls oder höherer Luftgeschwindigkeit. Die im Katalog aufgeführten Luftgeschwindigkeitsprofile basieren auf Messungen und anerkannten Testmethoden unter Laborbedingungen. Dargestellt sind die mit einem Hitzdrahtanemometer gemessenen Höchstwerte.

### Leistungstest

Frico hat ein Verfahren zur Prüfung der Leistung von Luftschleiern entwickelt. Der unten beschriebene Test erfolgte im Maßstab 1:1. Das Ziel besteht in der Ermittlung des Luftstroms durch eine Tür mit und ohne Luftschleier. Die verwendete Testanordnung ist in Abbildung 1 beschrieben. Die zwei Räume stehen für innen und außen. Zwischen den zwei Räumen befinden sich Luftöffnungen mit Geräten zur Messung des Luftstroms. Am Ende jeder Luftöffnung befindet sich ein Axialventilator. Der Luftschleier ist über der Tür installiert.

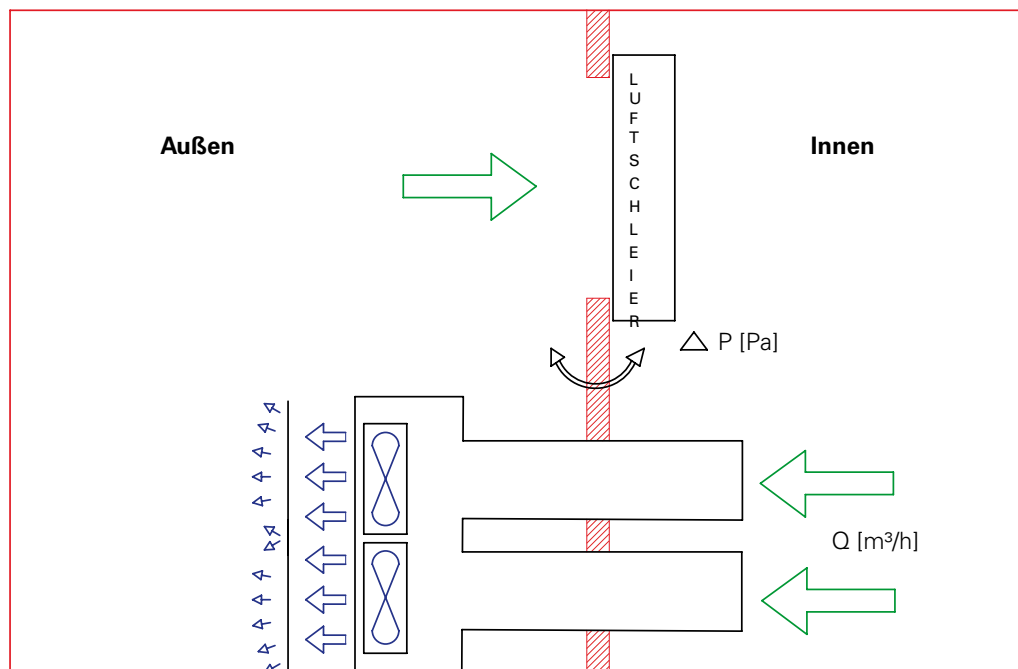


Abb. 1. Testanordnung

Bei laufenden Ventilatoren wird ein Luftstrom von innen nach außen erzeugt. Dabei dringt exakt dieselbe Menge durch die Luftöffnungen wie durch die Türöffnung. Dadurch entsteht zwischen den zwei Räumen ein Druckunterschied ( $\Delta P$ ). Die Gebläse beginnen mit einer niedrigen Drehzahl, die langsam erhöht wird. In der Zwischenzeit werden die Daten zu Luftstrom und Druckunterschied in einem Computer gespeichert. Aus den Daten wird im Diagramm eine Kurve erzeugt (siehe Abbildung 2). Die Messungen erfolgen mit und ohne Luftschleier. Das Ergebnis sind zwei Kurven, aus denen der Luftstrom bei einem bestimmten Druckunterschied abgelesen werden kann.

Beispiel: Der Luftstrom durch die Öffnung beträgt bei 3 Pa ohne Luftschleier 4 m<sup>3</sup>/s und 1,6 m<sup>3</sup>/s mit Luftschleier. Der Unterschied der beiden Werte für den Luftstrom ist ein Maß für die Effizienz des Luftschleiers.

In diesem Fall ergibt sich  $(4-1,6)/4 \cdot 100 = 60\%$  weniger Luftstrom mit Luftschleier als ohne.

Auf diese Art lässt sich die Leistung verschiedener Produkte unter denselben Bedingungen vergleichen. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der Tests an Geräten mit unterschiedlichen Entwurfsphilosophien dargestellt. Typ 1 ist durch eine hohe Luftgeschwindigkeit und einen geringen Luftstrom, Typ 2 durch eine mittlere Luftgeschwindigkeit und einen starken Luftstrom und Thermozone durch ein optimiertes Verhältnis zwischen Luftgeschwindigkeit und Luftstrom gekennzeichnet. Thermozone ist trotz seines um 13% geringeren Impulses effizienter als Typ 2.

Weitere Informationen zur Messung des Luftstroms unserer Luftschleier finden Sie auf Seite 5.

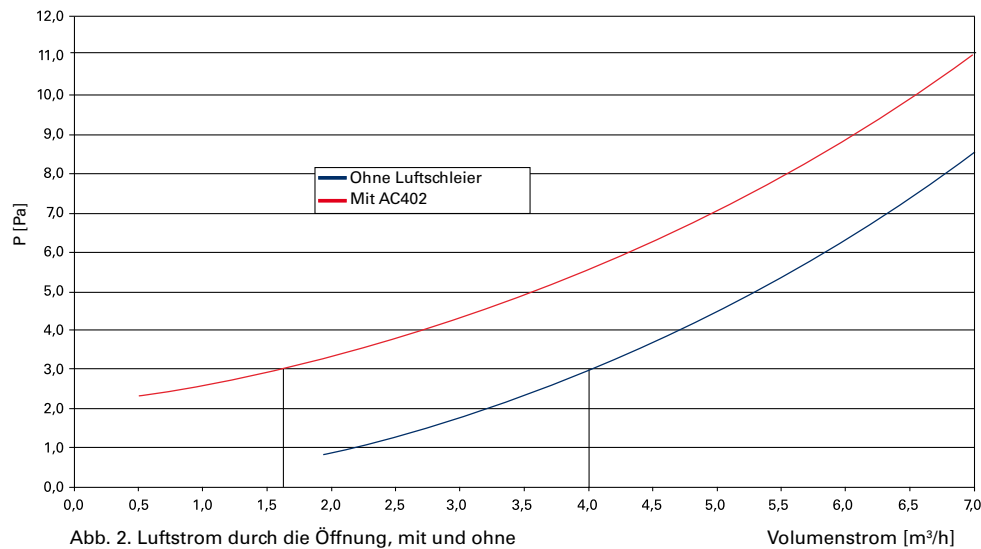


Abb. 2. Luftstrom durch die Öffnung, mit und ohne Luftschleier und bei unterschiedlichem Druck

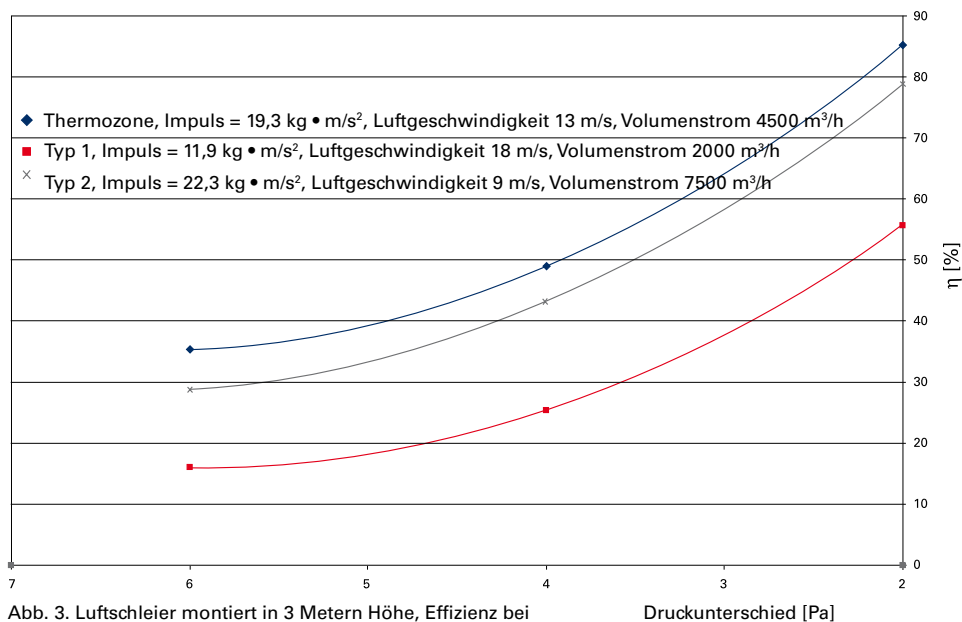


Abb. 3. Luftschleier montiert in 3 Metern Höhe, Effizienz bei unterschiedlichem Druck



**Schall**

**Schall ist eine wichtige Umgebungsbedingung, ebenso wichtig wie gute Beleuchtung, Luft guter Qualität und Ergonomie. Was normalerweise als Geräuschpegel bezeichnet wird, ist eigentlich das Niveau des Schalldrucks. Das Niveau des Schalldrucks wird durch den Abstand zur Schallquelle, die Position der Schallquelle und die Akustik des Raums bestimmt. Das bedeutet, dass zwar ein geräuscharmes Produkt entscheidend ist, zur Erreichung eines angenehmen Geräuschpegels aber trotzdem die gesamte Umgebung berücksichtigt werden muss.**

**Was ist Schall?**

Schall kann man als Luftdruckschwankungen bezeichnen, die entstehen, wenn eine Schallquelle zu schwingen beginnt. Die erzeugten Schallwellen sind Verdichtungen und Verdünnungen der Luftteilchen, ohne dass sich die Luft selbst bewegt. Je nach Medium kann sich eine Schallwelle mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten. In der Luft hat der Schall eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 340 m/s.

**Wie wird Schall gemessen?**

Geräuschpegel werden in Dezibel (dB) gemessen. Das dB ist eine logarithmische Einheit zur Beschreibung eines Quotienten. Steigt der Schallpegel um 10 dB an, ist das Ergebnis zweimal so laut (mathematisch exakt sind es 6 dB, in der Art, wie wir es hören, sind es aber 10 dB).

Es ist gut, zu wissen, dass zwei Schallquellen lediglich zu einer Erhöhung des Schallpegels um 3 dB führen. Bei zwei Eingängen mit jeweils zwei Luftvorhängen sollen alle vier Geräte mit einem Geräuschpegel von 50 dB arbeiten. In diesem Fall betrüge der Geräuschpegel insgesamt 56 dB. Bei der ersten Öffnung würde dann ein Geräuschpegel von insgesamt 53 dB plus weiteren 3 dB von der anderen Öffnung gemessen.

**Referenzpunkte - dB**

0	Der leiseste Schall, den ein Mensch hören kann
10	Normale Atmung
30	Empfohlener Maximalpegel für Schlafräume
40	Ruhiger Bürobetrieb, Bibliothek
50	Großraumbüro
60	Normale Unterhaltung
80	Klingelndes Telefon
85	Geräuschvolles Restaurant
110	Schrei ins Ohr
120	Die Schmerzgrenze

**Grundkonzepte**

Schalldruck  
 Druck entsteht, wenn sich Druckwellen beispielsweise in der Luft bewegen. Der Schalldruck wird in Pascal (Pa) gemessen. Um den Schalldruck darstellen zu können, wird eine logarithmische Skala verwendet, die auf der Differenz zwischen dem tatsächlichen

Schalldruckpegel und dem Schalldruckpegel an der Hörgrenze beruht. Die Skala hat die Einheit Dezibel (dB), wobei die Hörgrenze bei 0 dB und die Schmerzgrenze bei 120 dB liegen.

Der Schalldruck sinkt mit zunehmendem Abstand zur Schallquelle und ist abhängig von der Raumakustik.

**Schalleistung**

Als Schalleistung wird die Energiemenge pro Zeiteinheit (Watt) bezeichnet, die das Objekt abgibt. Die Schalleistung errechnet sich aus dem Schalldruck und besitzt ebenfalls eine logarithmische Skala. Die Schalleistung ist weder von der Schallquelle noch von den akustischen Eigenschaften eines Raumes abhängig. Dies erleichtert den Vergleich verschiedener Objekte.

**Frequenz**

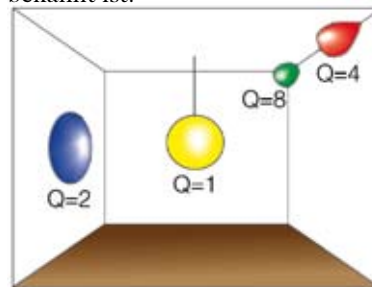
Die periodische Schwingung einer Schallquelle um den Nullpunkt nennt man Frequenz der Schallquelle. Die Frequenz wird in Schwingungen pro Sekunde gemessen. Eine Schwingung pro Sekunde ist 1 Hertz (Hz).

**Schalleistungspegel und Schalldruckpegel**

Wenn eine Schallquelle eine bestimmte Schalleistung emittiert, so wird der Schalldruckpegel von den folgenden Faktoren beeinflusst:

1. Richtungsfaktor, Q  
 Beschreibt die Verteilung des Schalls rund um die Schallquelle. Siehe Abbildung unten.
2. Abstand von der Schallquelle  
 Der Abstand von der Schallquelle in Metern.
3. Die Absorptionsfläche des Raumes  
 Die Fähigkeit einer Oberfläche, Schall zu absorbieren, kann man mit dem Absorptionsfaktor  $\alpha$  beschreiben, der einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann. Der Wert 1 entspricht dabei einer Oberfläche mit vollständiger Absorption, der Wert 0 einer Oberfläche mit vollständiger Reflexion. Die Absorptionsfläche eines Raumes wird ausgedrückt in  $m^2$ . Berechnet wird dies durch Multiplikation der Raumfläche mit dem Absorptionsfaktor der Oberfläche.

Mit diesen bekannten Faktoren kann man den Schalldruck berechnen, wenn der Schalleistungspegel bekannt ist.



Die Verteilung des Schalls rund um die Schallquelle.

Q = 1	Raummitte
Q = 2	An Wand oder Decke
Q = 4	Zwischen Wand und Decke
Q = 8	In der Ecke

## Tabellen und Diagramme zur Dimensionierung

### Elektrische Grundformeln

#### Stromstärke

Gleichstrom und Einphasenwechselstrom bei $\cos\varphi=1$	3-Phasen-Wechselstrom Y-Verbindung	3-Phasen-Wechselstrom $\Delta$ -Verbindung
$I=U/R=P/U$	$I_f=I$	$I=I_f\sqrt{3}$

#### Spannung

Gleichstrom und Einphasenwechselstrom bei $\cos\varphi=1$	3-Phasen-Wechselstrom Y-Verbindung	3-Phasen-Wechselstrom $\Delta$ -Verbindung
$U=RI$	$U=U_f\sqrt{3}$	$U_f=U$

#### Leistung

Gleichstrom und	3-Phasen-Wechselstrom Y-Verbindung	3-Phasen-Wechselstrom $\Delta$ -Verbindung
$P=UI$	$P=\sqrt{3}UI\cos\varphi$	$P=\sqrt{3}UI\cos\varphi$

U = Betriebsspannung in Volt: bei Gleichstrom und Einphasenwechselstrom zwischen den zwei Leitern, bei 3-Phasen-Wechselstrom zwischen zwei Phasen (nicht zwischen Phase und Null).

$U_f$  = Spannung zwischen Phase und Null in einem Kabel mit 3 Phasen.

$$\sqrt{3} \cong 1.73$$





I = Strom in Ampère

$I_f$  = Strom in Ampère in der Phasenleitung

R = Widerstand in Ohm

P = Leistung in Watt

#### Symbole für Modelltypen

-  = Standard (kein Symbol), IPX0
-  = tropfwassergeschützt, IPX1
-  = spritzwassergeschützt, IPX4
-  = strahlwassergeschützt, IPX5

### Schutzarten für Elektromaterial

IP, zweite Stelle	Schutz gegen feste Objekte
0	Kein Schutz
1	Schutz gegen feste Objekte $\geq 50$ mm
2	Schutz gegen feste Objekte $\geq 12,5$ mm
3	Schutz gegen feste Objekte $\geq 2,5$ mm
4	Schutz gegen feste Objekte $\geq 1,0$ mm
5	Schutz gegen Staub
6	Staubdicht
IP, zweite Stelle	Schutz gegen Wasser
0	Kein Schutz
1	Schutz gegen vertikal auftropfendes Wasser
2	Schutz gegen Tropfwasser im Winkel von max. 15°
3	Schutz gegen Spritzwasser
4	Schutz gegen Sprühwasser
5	Schutz gegen Strahlwasser
6	Schutz gegen schwere See
7	Schutz gegen kurzfristiges Eintauchen in Wasser
8	Schutz gegen Auswirkungen von langfristigem Eintauchen in Wasser

### Dimensionierungstabelle für Kabel und Drähte

Installationskabel, offen oder in Leitung		Schaltleitungen		
Fläche [mm <sup>2</sup> ]	Sicherung [A]	Fläche [mm <sup>2</sup> ]	Dauer-Strom [A]	Sicherung [A]
1,5	10	0,75	6	10
2,5	16	1	10	10
4	20			
6	25	1,5	16	16
10	35	2,5	25	20
16	63	4	32	25
25	80	6	40	35
35	100	10	63	63
50	125			
70	160			
95	200			
120	250			
150	250			
185	315			
240	315			
300	400			
400	500			

### Dimensionierungstabelle

#### Stromstärke bei unterschiedlicher Leistung und Spannung

Leistung [kW]	Spannung [V]					
	127/1	230/1	400/1	230/3	400/3	500/3
1.0	7,85	4,34	2,50	2,51	1,46	1,16
1.1	8,65	4,78	2,75	2,76	1,59	1,27
1.2	9,45	5,22	3,00	3,02	1,73	1,39
1.3	10,2	5,65	3,25	3,27	1,88	1,50
1.4	11,0	6,09	3,50	3,52	2,02	1,62
1.5	11,8	6,52	3,75	3,77	2,17	1,73
1.6	12,6	6,96	4,00	4,02	2,31	1,85
1.7	13,4	7,39	4,25	4,27	2,46	1,96
1.8	14,2	7,83	4,50	4,52	2,60	2,08
1.9	15,0	8,26	4,75	4,78	2,75	2,20
2.0	15,8	8,70	5,00	5,03	2,89	2,31
2.2	17,3	9,67	5,50	5,53	3,18	2,54
2.3	18,1	10,0	5,75	5,78	3,32	2,66
2.4	18,9	10,4	6,00	6,03	3,47	2,77
2.6	20,5	11,3	6,50	6,53	3,76	3,01
2.8	22,0	12,2	7,00	7,03	4,05	3,24
3.0	23,6	13,0	7,50	7,54	4,34	3,47
3.2	25,2	13,9	8,00	8,04	4,62	3,70
3.4	26,8	14,8	8,50	8,54	4,91	3,93
3.6	28,4	15,7	9,00	9,05	5,20	4,15
3.8	29,9	16,5	9,50	9,55	5,49	4,39
4.0	31,5	17,4	10,0	10,05	5,78	4,62
4.5	35,4	19,6	11,25	11,31	6,50	5,20
5.0	39,4	21,7	12,50	12,57	7,23	5,78
5.5	43,3	23,9	13,75	13,82	7,95	6,36
6.0	47,3	26,1	15,0	15,1	8,67	6,94
6.5	51,2	28,3	16,25	16,3	9,39	7,51
7.0	55,0	30,4	17,50	17,6	10,1	8,09
7.5	59,0	32,6	18,75	18,8	10,8	8,67
8.0	63,0	34,8	20,0	20,1	11,6	9,25
8.5	67,0	37,0	21,25	21,4	12,3	9,83
9.0	71,0	39,1	22,5	22,6	13,0	10,4
9.5	75,0	41,3	23,75	23,9	13,7	11,0
10.0	78,5	43,5	25,0	25,1	14,5	11,6

Bei Ausgangsleistungen zwischen 0,1 und 1 kW, Ampereangabe mit 0,1 multiplizieren. Bei Ausgangsleistungen zwischen 10 und 100 kW, Ampereangabe mit 10 multiplizieren.

### Energieeinsparung mit Türluftschleier

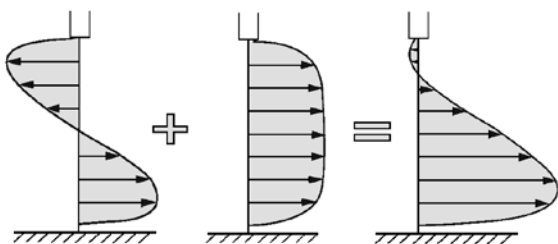
Aus dem Diagramm unten können die Energieverluste abgelesen werden, die an einer ungeschützten Tür ohne Luftschleier entstehen können.

- Bedingungen: Großer Raum  
 Temperatur im Jahresdurchschnitt 6,5 °C  
 Windgeschwindigkeit im Jahresdurchschnitt  $v_{10}$  4 m/s  
 Türöffnungsdauer 1 Std./Tag

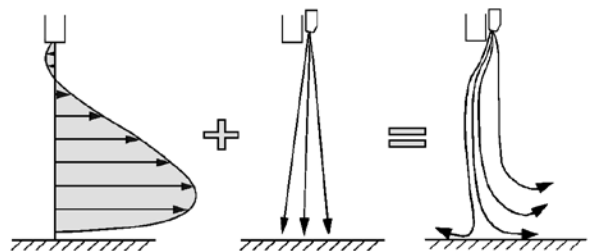


Der Luftaustausch durch eine Öffnung und die damit verbundenen Energieverluste werden durch mehrere Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren sind die Größe der Öffnung, die Häufigkeit ihrer Benutzung und der Einfluss von Wind sowie Temperatur- und Druckunterschiede.

Mit einem in der Öffnung installierten Luftschleier wird der Energieverlust vermindert. Die eingesparte Menge richtet sich nach dem Charakter der Öffnung. Umseitig finden Sie ein Beispiel mit vorgegebenen Faktoren und einem geschätzten Einspareffekt.



Der negative Einfluss der Tür wird durch Temperatur- und Druckunterschiede sowie Wind verursacht.



Dem negativen Einfluss der Öffnung wird durch einen Luftschleier entgegengewirkt.

### Berechnungen zur Energieeinsparung

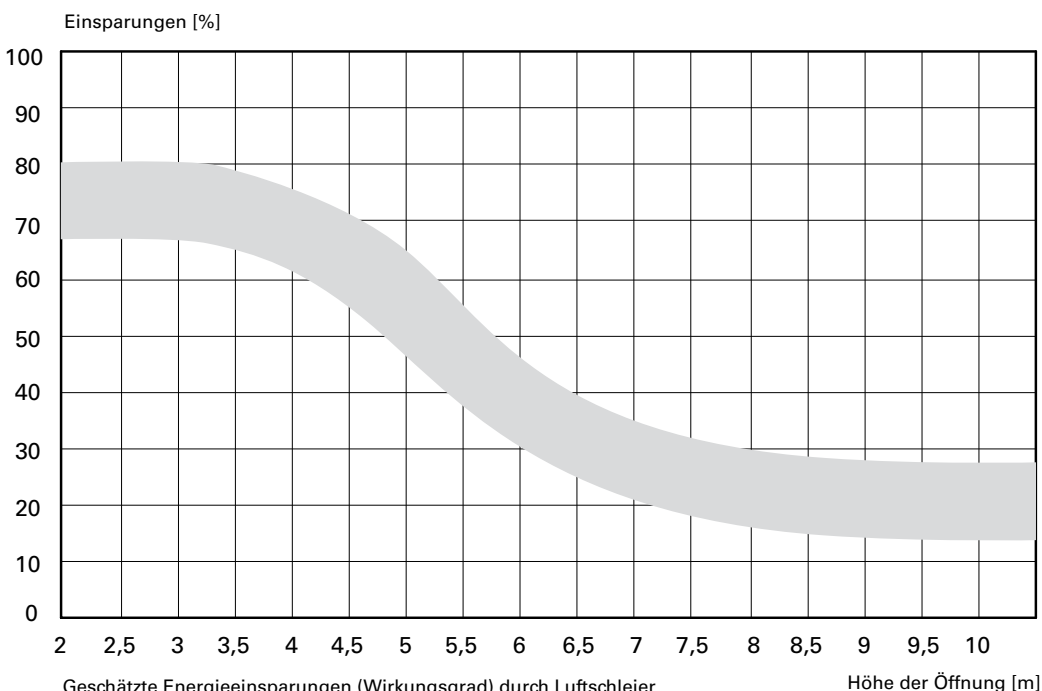
Türhöhe	5 m
Türbreite	4 m
Betriebstage pro Woche	5 Tage
Öffnungszeit pro 24 Stunden	1 h/24
Dauer des Offenbleibens jeder Tür	5 min/Öffnung
Angegebene Innentemperatur	18 °C
Angegebene Außentemperatur	-18 °C
Temperatur im Jahresdurchschnitt	5 °C
Windgeschwindigkeit	4 m/s
Raumvolumen	6400 m <sup>3</sup>

In diesem Beispiel werden die Energieverluste bei einer offenen, ungeschützten Tür mit einer durch Luftschleier geschützten Tür verglichen. Die Berechnungen sollten als Anleitung angesehen werden. Die Berechnungen zu Energieeinsparungen sind nicht exakt wissenschaftlich. Es lässt sich nur schwer bestimmen, wie sich Zugluft auswirkt und wie dicht das Gebäude ist. Dasselbe gilt für den Kamineffekt sowie für Windrichtung und Windgeschwindigkeit usw. Zu erkennen ist jedoch, dass die Energieverluste bei ungeschützten Öffnungen hoch

sind.

Bei einem Vergleich der Werte im Diagramm auf der vorherigen Seite mit dem Diagramm unten können wir feststellen, dass der Luftschleier bis zu 65% des Luftaustauschs durch die Tür verhindert.

Energieverluste, ungeschützte Öffnung:	69 MWh/J
Energieverluste, Öffnung mit Luftschleier:	24 MWh/J
Energieeinsparungen:	45 MWh/J



#### Wenden Sie sich an Frigo oder unsere Vertreter

Wir würden uns freuen, wenn Sie mit uns die Bedingungen für Ihre Türöffnungen besprechen. Mit einigen Angaben von Ihnen können wir mögliche Energieeinsparungen abschätzen. In der Checkliste rechts finden Sie die dazu benötigten Parameter.

- Die Breite und Höhe der Tür
- Typ und Größe der Räumlichkeiten
- Betriebstage pro Woche
- Öffnungszeit pro 24 Stunden
- Innen- und Außentemperatur
- Windbedingungen
- Unterdruck



## Warum entsteht bei offenen Türen Zugluft?

**Eine Tür muss geöffnet werden, damit Personen und Fahrzeuge hindurch gelangen können. Außerdem zieht eine offene Tür mehr Kunden an. Die Nachteile dabei sind kalte Zugluft und Energieverlust. Wie viel Luft durch eine offene Tür entweicht, hängt vom Druckunterschied zwischen den Luftmassen innen und außen ab.**

Der Luftstrom durch die Türöffnung wird durch drei Faktoren verursacht:

- Druckunterschied außen/innen
- Temperaturunterschied außen/innen
- Windgeschwindigkeit an der Türöffnung

Vereinfacht könnte man sagen, dass bei unterschiedlichen Bedingungen auf jeder Seite der Tür automatisch Zugluft entsteht. Luft strömt so lange durch die Tür, bis der Druck- und Temperaturunterschied ausgeglichen ist. Bei einem geheizten Raum bedeutet dies, dass warme Luft nach außen und kalte Luft nach innen dringt. Wenn Wind gegen die Öffnung bläst, wird der Luftstrom ebenfalls beeinflusst.

### Luftstrom infolge von Druckunterschieden

Damit ein Luftschleier mit optimalem Wirkungsgrad funktionieren kann, ist es wichtig, dass der Über- oder Unterdruck im Gebäude nicht zu groß ist. Der Druckunterschied zwischen einem Gebäude und seiner Umgebung kann durch eine ausgewogene Ventilation ausgeglichen werden, da diese dem durch den Druckunterschied zwischen innen und außen verursachten Luftstrom entgegenwirkt.

Ventilationssysteme sind in der Regel so genannte Null-Druck-Systeme, die mechanisch eingestellt werden und damit auf Basis der zum Zeitpunkt der Justierung herrschenden Bedingungen arbeiten. Ändern sich die Bedingungen, wie z. B. durch Schwankungen in Temperatur, Luftdruck, Wind und Luftfeuchtigkeit, so wird das Gleichgewicht des Null-Druck-Systems gestört, was bedeutet, dass im Gebäude entweder ein Überdruck oder aber in der Regel ein Unterdruck entsteht.

Ein Luftschleier kann je nach den Umständen einem Druckunterschied von maximal 5 Pa widerstehen. Auch geringere Druckunterschiede können die Effizienz des Luftschleiers beeinträchtigen.

Mit einer ausgewogenen Ventilation werden das Raumklima verbessert und die Energiekosten gesenkt. Eine ausgewogene Ventilation kann mit einer Druckregulierung über das Ventilationssystem hergestellt werden. Der effizienteste Weg ist aber die kontinuierliche Messung des Druckunterschieds zwischen der Luft innen und außen und der darauf basierenden Regulierung der Ventilation. Wenden Sie sich bitte an Frico, wenn Sie weitere Informationen benötigen.

Der Luftstrom  $Q_p$  in Abhängigkeit vom Druckunterschied kann wie folgt berechnet werden:

$$Q_p = B \cdot H \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2}{\rho}} \cdot 0,8 \quad [1]$$

( $\Delta P \leq 5 \text{ Pa}$ )

wobei  $B$  = Türbreite [m]  
 $H$  = Türhöhe [m]  
 $\Delta P$  = Druckunterschiede  
 $\rho$  = Dichte der Luft

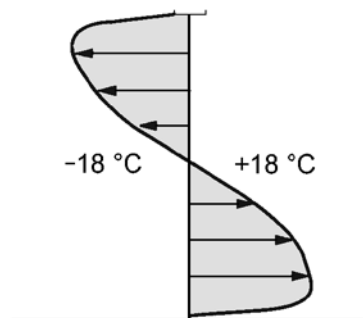
### Luftstrom infolge von Temperaturunterschieden

Warme Raumluft ist weniger dicht und leichter als kalte Luft, was zu einem Druckunterschied im Türbereich führt. Die kalte Außenluft strömt im unteren Bereich der Öffnung herein und drängt die warme Luft durch den oberen Bereich der Öffnung nach außen. Dies wird auch als "Atmung" der Öffnung bezeichnet. Der Volumenstrom variiert abhängig vom Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft. Man kann also sagen, dass der Luftaustausch durch die Temperaturunterschiede verursacht wird. Legt man die gegebenen Temperaturwerte innerhalb und außerhalb des Gebäudes zugrunde, kann die Dichte der Luftmassen und damit auch der Druckunterschied und Volumenstrom der Luft durch die Öffnung berechnet werden.

Der Luftstrom  $Q_T$  in Abhängigkeit vom Temperaturunterschied kann wie folgt berechnet werden:

$$Q_T = \frac{B}{3} \cdot H^{1,5} \cdot \mu_0 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_m}} \quad [2]$$

wobei  $B$  = Türbreite [m]  
 $H$  = Türhöhe [m]  
 $\mu_0$  = Luftstromkoeffizient (0,1-1,0)  
 $g$  = Gravitationskoeffizient (9,81 m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta \rho$  = Dichteunterschied zwischen den Luftmassen  
 $\rho_m$  = Durchschnittliche Dichte der Luftmassen



Luftstrom infolge von unterschiedlichen thermischen Drücken

**Windeinfluss**

Bläst der Wind gegen die Türöffnung, strömt Luft hindurch. Der Luftstrom ist gleichmäßig über die gesamte Öffnung verteilt. Somit ist die Stärke des Luftstromes proportional zur Windgeschwindigkeit im rechten Winkel zur Türöffnung. (Nach einer gewissen Zeit hat der Raum einen solchen Überdruck, dass sich der Luftstrom auf die Menge verringert, die durch undichte Bereiche des Gebäudes entweicht.) Eine Windgeschwindigkeit von 3 m/s entspricht einem Lastdruck von 5 Pa.

Der Luftstrom  $Q_v$  in Abhängigkeit vom Windeinfluss kann wie folgt berechnet werden:

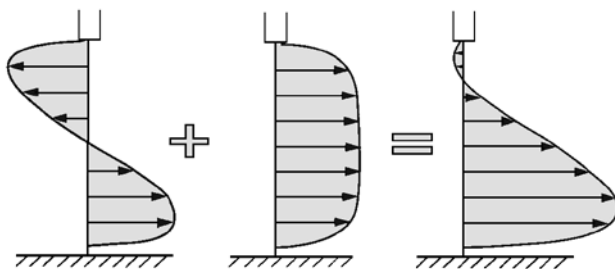
$$Q_v = B \cdot H \cdot \frac{v_{10}}{2} \cdot 0,25 \times L \quad [3]$$

- wobei
- B = Türbreite
  - H = Türhöhe
  - $v_{10}$  = Windgeschwindigkeit im Jahresdurchschnitt in einer Höhe von 10 m (siehe Klimadaten)
  - 0,25 = Faktor Windrichtungsfrequenz
  - L = Positionsfaktor, 1 = Normalwert >1 für betreffende Position

**Gesamtvolumenstrom**

Der Gesamtvolumenstrom errechnet sich aus der Summe der Luftströme durch Temperatur- und Druckunterschiede und durch Windeinfluss.

$$Q_{tot} = Q_T + Q_v + Q_p \quad [4]$$



Gesamtvolumenstrom

**Wichtige Anmerkungen**

- Bei negativem Druck im Raum wird die Leistung des Luftschleiers wesentlich verringert, weshalb die Belüftung ausgeglichen werden sollte. Ein Luftschleier ist nicht in der Lage, ein durch unausgeglichene Belüftung verursachtes Defizit der Luftmenge (unter Druck) zu blockieren. Mechanische Gebläse sind immer stärker als ein Luftstrom.
- Ist eine Öffnung dem Wind ausgesetzt, wird der Wirkungsgrad des Luftschleiers beeinflusst. Ein Luftschleier kann je nach den Umständen einer Windgeschwindigkeit von maximal 3 m/s widerstehen. In Öffnungen, die dem Wind stark ausgesetzt sind, kann es zu stärkerer Erwärmung kommen. Bei Neubauten ist es ratsam, eine Verlegung der Öffnung oder den Einbau einer Drehtür oder Doppeltür in Betracht zu ziehen, wobei die Öffnungen nicht in einer Linie sein sollten.
- Um die Luftschleiergeräte zu schützen, sollten sie in den meisten Fällen an der Innenseite der Tür installiert werden. Bei Kühlräumen werden sie jedoch auf der warmen Seite angebracht.
- Um einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen, sollte der Luftschleier so nahe wie möglich an der Öffnung installiert werden und die gesamte Breite der Öffnung abdecken.
- Richtung und Geschwindigkeit des Luftstroms sollten je nach den Eigenschaften der Öffnung eingestellt werden. Der Druck hat Einfluss auf die Wirkung des Luftschleiers und drückt den Luftstrom in der Regel nach innen. Der Luftstrom sollte deshalb nach außen geneigt verlaufen.





