

## Akustische Grundlagen:

Unter Schall versteht man mechanische Schwingungen im Hörbereich (etwa 16 Hz bis 16 kHz). Falls die Schwingungen in der Luft erfolgen, spricht man von Luftschall (Schall, der sich in Form von Schallwellen in der Luft ausbreitet. Luftschall breitet sich in der Regel kugelförmig aus.), bei Flüssigkeiten von Flüssigkeitsschall (z.B. Wasserschall) und bei festen Körpern von Körperschall (Schall, der sich in festen Medien oder an dessen Oberflächen ausbreitet.).

Im Bereich der Akustik für Kunststoffventilatoren ist überwiegend der Luftschall zu betrachten, da sich der Schall im Kunststoff schlechter ausbreiten kann als z.B. bei Stahl.

Das menschliche Ohr als Sinnesorgan zur Aufnahme von Geräuschen empfindet diese nicht nur leise oder laut, sondern auch angenehm oder unangenehm. Neben den physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind daher auch die physiologischen Zusammenhänge durch das subjektive Hörempfinden bei der Geräuschbewertung von Bedeutung.

Zum besseren Verständnis der akustischen Vorgänge lassen sich die physikalischen Gesetzmäßigkeiten, von denen bei der akustischen Berechnung von Lüftungsanlagen ausgegangen werden muss, vergleichen durch eine thermische Analogie, die zwischen einer Geräuschquelle und einer Wärmequelle in einem Raum besteht.

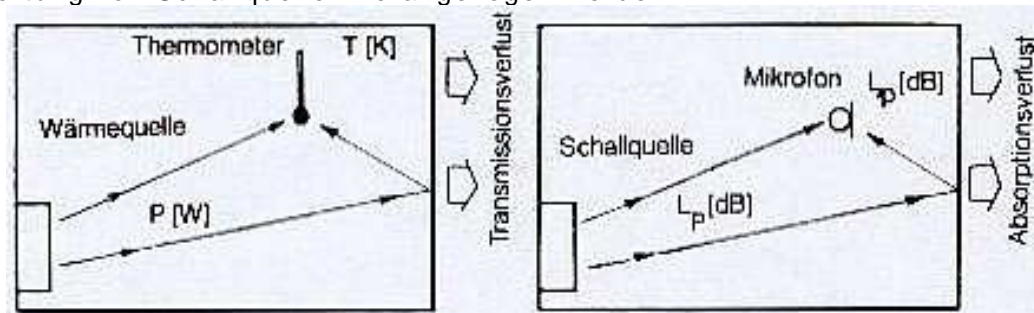
Die Schallleistung einer Geräuschquelle ist mit der Wärmeleistung einer Wärmequelle vergleichbar. Der Schalldruckpegel im Raum, den ein Mikrophon oder das menschliche Ohr registriert, ist dabei vergleichbar mit der Temperatur im Raum, die ein entsprechendes Thermometer anzeigen bzw. der menschliche Körper registrieren würde.

Genauso wie ein Thermometer keine Wärmeleistung anzeigt, kann mit einem Mikrophon nicht direkt die Schallleistung gemessen werden.

In gleicher Weise, wie sich z.B. die Temperatur mit zunehmendem Abstand zur Wärmequelle ändert, bedingt durch den Einfluss der Umgebungswände und deren Wärmeleitfähigkeit sowie dem Temperaturabstand zur Außentemperatur, ändert sich der Schalldruckpegel mit dem Absorptionsverhalten des Raumes bzw. seiner Umschließungsflächen.

Diese Analogie zeigt auf, dass es absolut unkorrekt ist, einerseits eine Geräuschquelle durch den Schalldruckpegel zu bewerten wie auch andererseits eine Wärmequelle durch die von ihr in einem Raum erzeugte Raumlufttemperatur.

Aus diesem Grund soll der Schallleistungspegel als Basis für die Geräuschbewertung von Schallquellen herangezogen werden.



## Schalleistung $W$ / Schalleistungspegel $L_w$ :

Die nicht direkt messbare Schalleistung  $W$  ist die von einer Schallquelle insgesamt abgegebene Leistung. Der Schalleistungspegel wird bestimmt durch das logarithmische Verhältnis der vorhandenen Schalleistung  $W$  einer Schallquelle zu der Bezugsleistung  $W_0 = 10^{-12} \text{ Watt}$  nach der Beziehung

$$\text{Schalleistungspegel } L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$$

Wie am Beispiel der thermischen Analogie bereits aufgezeigt, besteht ein direkter Zusammenhang zwischen ursprünglicher Schalleistung  $L_w$ , der äquivalenten Absorptionsfläche  $A$  und der hieraus resultierenden Schallpegelminderung, messbar in Form des Schalldruckpegels  $L_p$ . Werden keine räumlichen Veränderungen vorgenommen, so bleibt die Raumabsorption und somit die Schallpegeldifferenz erhalten zu

$$\text{Schallpegeldifferenz } \Delta L = L_w - L_p = \text{const. dB}$$

Unter Nutzung dieser physikalischen Eigenschaft eines Raumes kann nach der Substitutionsmethode der Schalleistungspegel einer Geräuschquelle durch Erweiterung der obigen Gleichung wie folgt ermittelt werden:

$$L_{w2} - L_{p2} = L_{w1} - L_{p1} \text{ dB}$$

$$\text{Schalleistungspegel } L_{w2} = L_{w1} - L_{p1} + L_{p2} \text{ dB}$$

Praktisch lässt sich diese Beziehung zur Bestimmung des Schalleistungspegels einer Geräuschquelle mit Hilfe einer so genannten Normschallquelle mit bekannten Schalleistungspegel  $L_{w1}$  wie folgt anwenden:

Gemessen wird - unter gleichen Bedingungen - der Schalldruckpegel  $L_{p1}$  der Normschallquelle und der Schalldruckpegel  $L_{p2}$  der zu untersuchenden Geräuschquelle. Durch Einsetzen des bekannten Schalleistungspegels  $L_{w1}$  der Normschallquelle sowie der gemessenen Schalldruckpegel  $L_{p1}$  und  $L_{p2}$  in die vorher aufgeführte Gleichung erhält man den Schalleistungspegel  $L_{w2}$  der Geräuschquelle.

## Schalldruck p / Schalldruckpegel L<sub>p</sub>:

Das in Schwingungen versetzte Molekularteilchen erzeugt im Medium (z.B. Luft) Luftdruckschwankungen und damit verbundene Luftdruckwechsel. Diese Drücke sind messbar und werden als Schalldruck (Formelzeichen: p) bezeichnet.

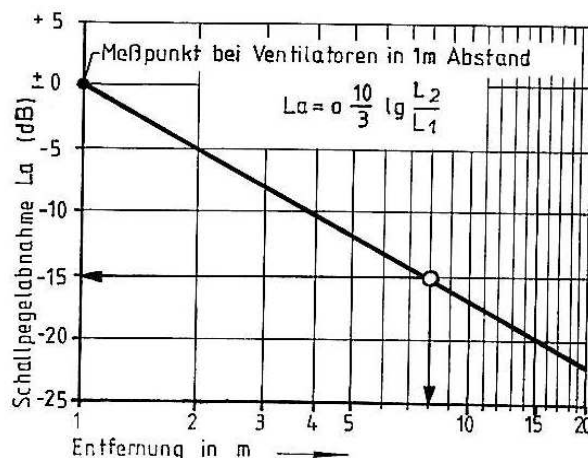
Der Schalldruckpegel L<sub>p</sub> ist der logarithmierte Schalldruck p, der auf den Schalldruck p<sub>0</sub> (Hörschwelle) bezogen ist, und in Dezibel (dB) angegeben wird. Der Schalldruckpegel bildet das logarithmische Verhältnis eines vorhandenen Schalldruckes p zu einem Bezugsdruck p<sub>0</sub> = 2 x 10<sup>-4</sup> µbar, gleich dem Hörschwellendruck des menschlichen Ohres, und wird bestimmt nach der Beziehung

$$\text{Schalldruckpegel } L_p = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

Die Bestimmung des Schalldruckpegels in dB (Dezibel) erfolgt mittels eines Schallpegelmessgerätes.

Schalldrücke bzw. Schalldruckpegel verändern sich entfernungsabhängig, d.h. je weiter man sich von der Schallquelle entfernt, um so kleiner werden die Druckschwankungen und um so leiser wird der Schall empfunden.






Die Schallausbreitung erfolgt im Freien kugelförmig nach alle Seiten. Als Faustformel kann man sagen, dass eine Abstandsverdoppelung eine Pegelreduzierung von 5 dB bewirkt.



Das menschliche Ohr empfindet hohe und tiefe Frequenzen unterschiedlich laut. Daher wurde in Annäherung an das Hörempfinden die Bewertungskurve A festgelegt.

| dB(A) | Quelle               |
|-------|----------------------|
| 120   | Düsenflugzeug        |
| 120   | <b>Schmerzgrenze</b> |
| 100   | Maschinenlärm        |
| 80    | Strassenverkehr      |
| 60    | normale Unterhaltung |
| 40    | Schreibmaschine      |
| 20    | Flüstern             |
| 0     | <b>Hörschwelle</b>   |

## Pegeladdition:

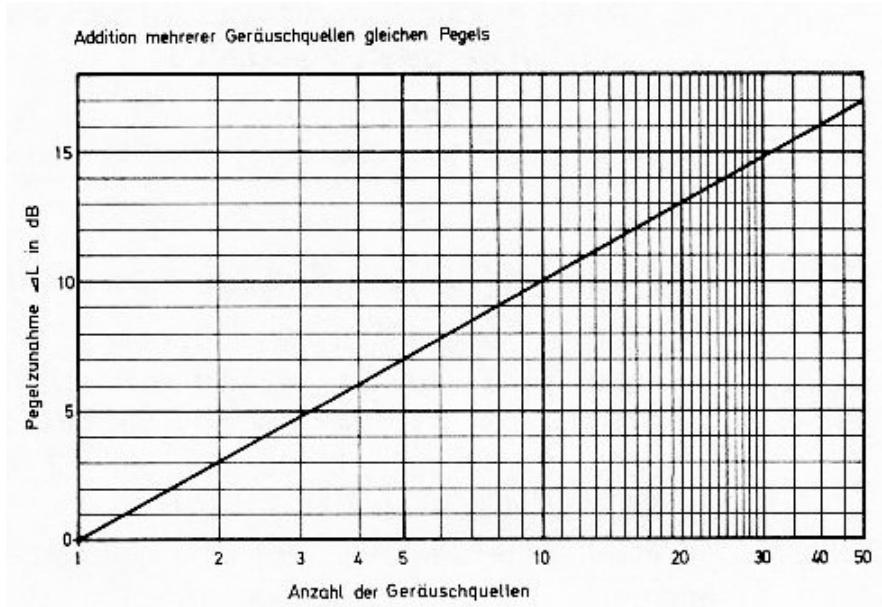
| Lautstärke-<br>änderung                    | Schallpegel-<br>unterschied | Anzahl gleicher<br>Schallquellen<br>(Schallleistungsanstieg)<br><small>(Bilder nur symbolisch. Es müssten immer<br/>technisch identische Ventilatoren sein.)</small> |
|--|-----------------------------|--|
| Grundlautstärke                            | -                           |  <b>1 x</b>  |
| eben hörbar lauter                         | + 1 dB                      |  <b>1,25 x</b>  |
| hörbar lauter                              | + 3 dB                      |  <b>2 x</b>  |
| doppelt so laut wie<br>die Grundlautstärke | + 10 dB                     |  <b>10 x</b>   |
| viermal so laut wie<br>die Grundlautstärke | + 20 dB                     |  <b>100 x</b>  |

Der Schallpegel besitzt eine logarithmische Funktion, so dass eine Addition von mehreren Schallpegeln zu einem Summenpegel nach logarithmischen Gesetzen erfolgt, deren Ergebnisse sich in zwei Merksätzen wie folgt ausdrücken lassen:

- Die Zuwachsrate zweier Schallpegel gleicher Größe beträgt stets 3 dB.
- Die Zuwachsrate zweier Schallpegel ungleicher Größe mit einer Differenz größer 10 dB beträgt stets 0 dB.

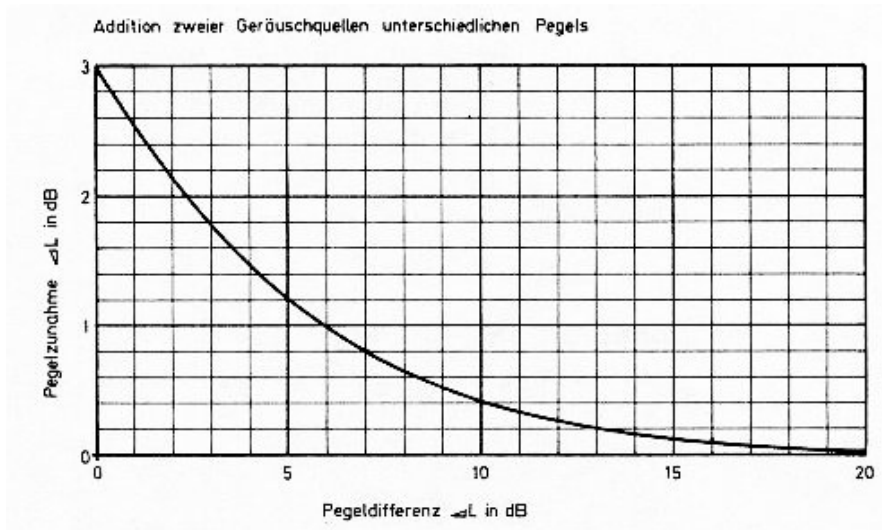
Die Berechnungsgrundlagen für die Pegeladdition lauten für  
Pegel mit gleicher Größe:

$$L = 10 \cdot \log n \text{ dB} \quad \text{mit } n = \text{Anzahl gleicher Schallquellen}$$



Pegel ungleicher Größe:

$$\text{Gesamtschallpegel } L_{\text{ges}} = 10 \cdot \log \sum 10^{0,1 \cdot L_i} \text{ dB}$$



## Schalldämmung / Schalldämpfung:

Diese zwei Begriffe werden oft verwechselt, daher hier eine kurze Erklärung.

### Schalldämmung = Isolation

Verhinderung des Schalldurchtritts durch eine Trennfläche, d. h. der Schall wird an der Ausbreitung gehindert. Dies geschieht am besten durch schwere Materialien. Deshalb dämmt eine schwere Wand besser als eine leichte.

Der Schall wird an der Trennfläche vorwiegend reflektiert. Die Luftschalldämmung wird durch das Schalldämmmaß  $R$  gekennzeichnet. Eine optimale Luftschalldämmung erreicht man durch den Einsatz schwerer Massen (Beton, schweres Mauerwerk) oder biegeweicher Schalen (z.B. Gipskartonplatten).

### Schalldämpfung = Absorption

Umwandlung von Schallenergie in Wärme. Zur Luftschallabsorption werden hauptsächlich poröse Schallschluckstoffe verwendet, wobei die Bewegungsenergie (=Schallenergie) der Luftteilchen durch Reibung in den Poren des Schallschluckstoffes in Wärme umgewandelt wird. Wird z. B. in einem stark hallenden Raum die Decke absorbierend verkleidet, sinkt die so genannte Nachhallzeit deutlich und die Sprachverständlichkeit wird erhöht.

## Schallschutz-Maßnahmen:

Durch Schallisolierungen und Schallhauben einerseits (Schalldämmung) und Schalldämpfer andererseits (Schalldämpfung) kann die durch den Ventilator verursachte Lärmbelästigung vermindert werden.

Im Schalldämpfer wird die Schallausbreitung im Leitungssystem abgesenkt, ohne dass dabei der Medienstrom wesentlich beeinträchtigt wird (Reduzierung der Schalleistungswerte durch Umwandlung von Schallenergie in Wärmeenergie.).

Schallisolierung und Schallhaube bewirken weitgehende Abschirmung der Ventilatorumgebung gegen die Ausbreitung des Luftschalls, der von den zu Körperschall angeregten Bauteilen abgestrahlt wird (Reduzierung der Schalleistungswerte durch Reflexion der Schallenergie zur Lärmquelle und zusätzlich teilweise durch Umwandlung in Wärmeenergie.).

Für die Schalldämpfung von Ventilatoren werden hauptsächlich Absorptions-Schalldämpfer eingesetzt.

Bei dieser Bauart sind in einem Gehäuse mehrere Kulissen parallel zur Richtung des Medienstromes angeordnet. Der Raum zwischen den aus Lochplatten bestehenden Kulissenwänden ist mit schallschluckenden Mineral-Faserstoffen ausgekleidet. Die zu Schallschwingungen angeregten Moleküle des Medienstromes werden durch die Mineral-Faserstoff-Packungen gebremst, so dass die durch die Löcher durchstrahlende Schallenergie in Folge der Reibung der Moleküle in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Der Absorptions-Schalldämpfer wird dort angewandt, wo ein breitbandiges Geräuspektrum gedämpft werden soll. Ein erfolgreicher Betrieb ist aber nur bei staubarmen Fördermedien möglich, denn bei Vorhandensein von Staub im

Medium setzen sich die Löcher der Kulissenwände zu, und der Dämpfer wird in seiner Wirkung stark beeinträchtigt.

Für Absorptions- Rohrschalldämpfer gilt das gleiche Wirkprinzip wie für die zuvor beschriebenen Absorptions- Schalldämpfer in Kulissenbauweise (Absorptions-Kulissenschalldämpfer).

Eine Schallhaube wird fast immer in Kombination mit einem Schalldämpfer eingesetzt, um die geforderten Schallwerte zu erreichen. Eine Schallhaube reduziert den Summenpegel in Abhängigkeit ihrer Bauart um etwa 25 dB.

Eine Schallisolierung direkt am Gehäuse wird eingesetzt, wenn keine hohen Pegelreduzierungen gefordert werden (~ 7 dB). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass kein Abbau der Schallenergie im Inneren des Systems erfolgt. Daher strahlen die Flächen, an denen die Isolierung unterbrochen ist, den Schall in voller Höhe ab.



Die Gehäuseschallisolierungen wurden bisher in der Regel mittels eines verzinkten Stahlblechmantels hergestellt. Mittlerweile sind Lösungen aus Kunststoff mit integrierter Isolierung verfügbar. Diese weisen ebenfalls gute Dämmungswerte auf und sind zudem nicht anfällig gegenüber Korrosion. Gehäuseschallisolierungen sind ausschließlich bei geschweißten Gehäusen realisierbar.

Anbei einige Bilder zum besseren Verständnis von Schalldämm- Maßnahmen:

## Schallabstrahlung an einem Radialventilator ohne Schallschutz-Maßnahmen

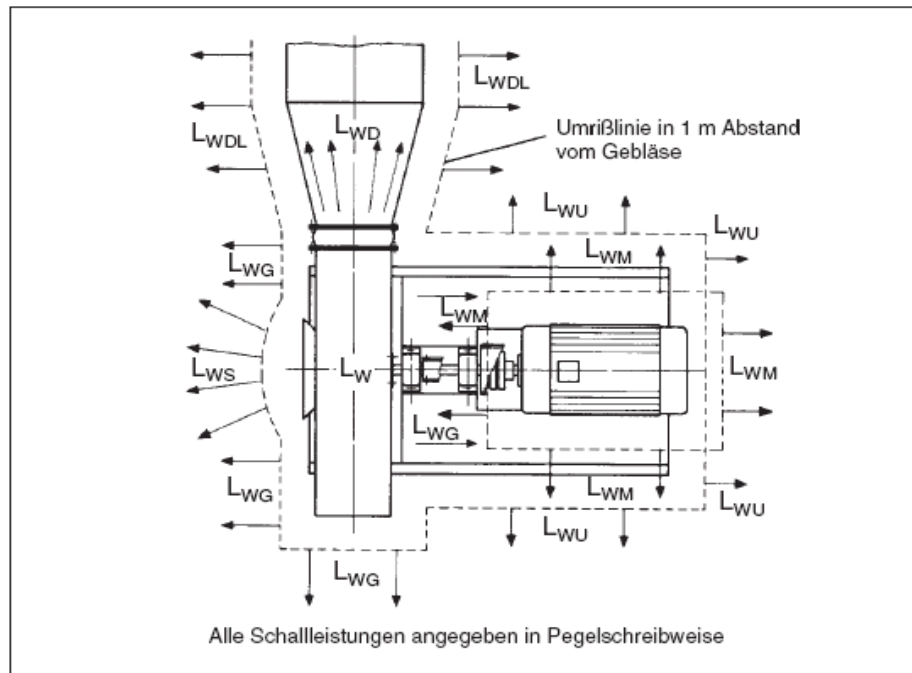


Bild 1

$L_W$  ... gesamte vom Ventilator erzeugte Schalleistung

$L_{WD}$  ... mit dem Medienstrom durch den Druckstutzen abgestrahlte Schalleistung

$L_{WDL}$  ... von der Druckleitung – in Folge  $L_{WD}$  und Körperschall-Übertragung – als Luftschall abgestrahlte Schalleistung.

$L_{WS}$  ... gegen den Medienstrom durch den Saugstutzen abgestrahlte Schalleistung

$L_{WSL}$  ... wäre die von der Saugleitung – infolge  $L_{WS}$  und Körperschallübertragung – als Luftschall abgestrahlte Schalleistung (Bilder 2 und 3)

$L_{WG}$  ... vom Gehäuse – in Folge von Körperschall-Anregung durch die Schall-Energie im Medienstrom – als Luftschall abgestrahlte Schalleistung

$L_{WU}$  ... von der Unterstützungs-Konstruktion – in Folge von Körperschall - Leitung vom Gehäuse – als Luftschall abgestrahlte Schalleistung

$L_{WM}$  ... Schallabstrahlung benachbarter Maschinen (z. B. Antriebsmotor)

## Schallschutz an einem Radialventilator durch Saug-Schalldämpfer und Isolierungen

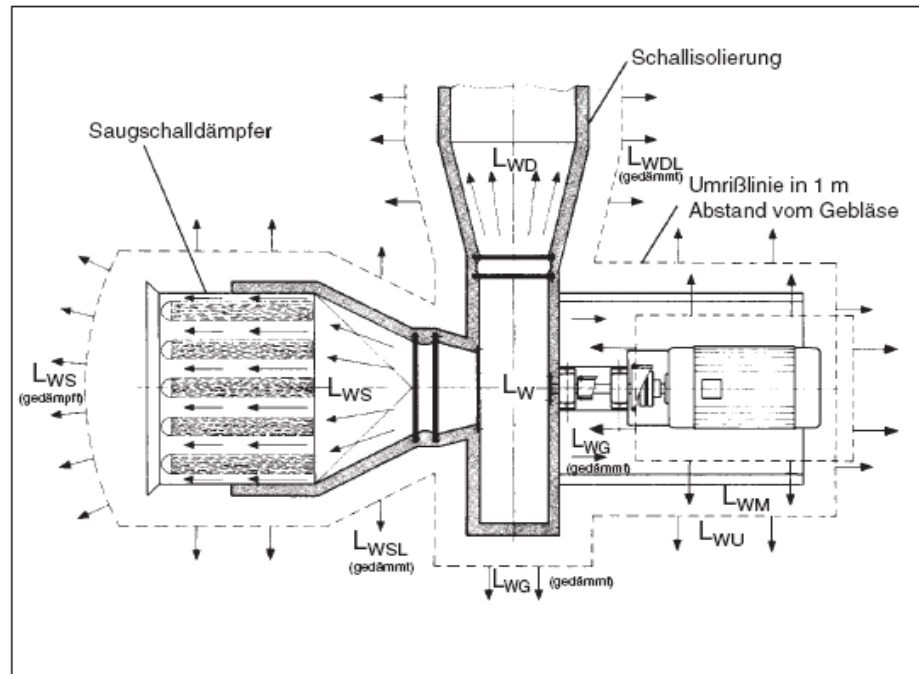


Bild 2

- Dämpfung der Schalleistung  $L_{WS}$  durch einen Saug-Schalldämpfer
  - Dämpfung der Schalleistungen  $L_{WG}$ ,  $L_{WDL}$ ,  $L_{WSL}$  durch Schallisolierungen.
- Da kein Abbau der Schallenergie im Inneren des Systems erfolgt, strahlen die Flächen, an denen die Isolierung unterbrochen ist, den Schall in voller Höhe ab.
- Die Schalleistung  $L_{WD}$  wird ins Leitungssystem abgestrahlt.

## Schallschutz an einem Radialventilator durch Saug- und Druck-Schalldämpfer und Isolierungen

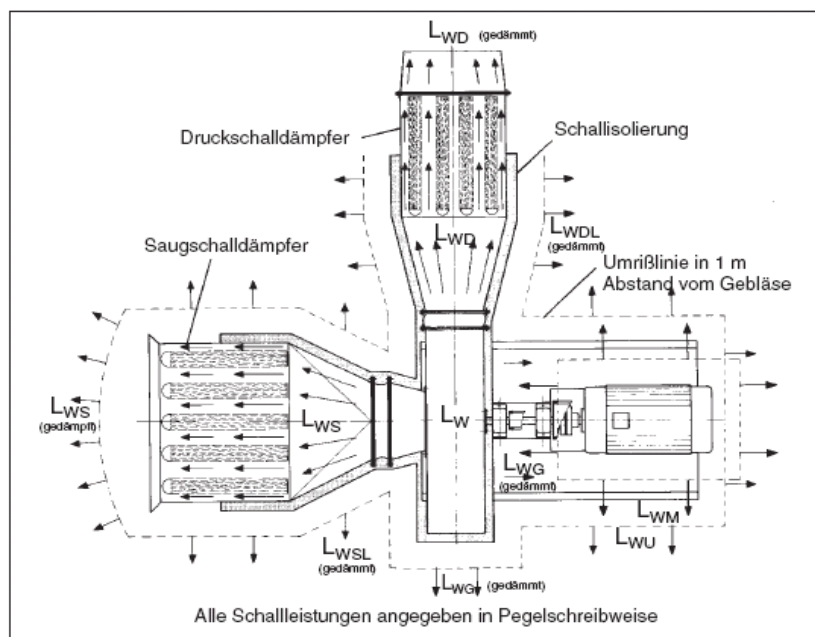


Bild 3

