



# Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen

Ein Leitfaden (Auszug Teil III)



# lärm





# **Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen**

**Ein Leitfaden (Auszug Teil III)**

## Impressum

Tieffrequente Geräusche bei Biogasanlagen und Luftwärmepumpen (Auszug Teil III)

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: (08 21) 90 71-0  
Fax: (08 21) 90 71-55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 26, Georg Eberle, Wolfgang Fürst, Bernhard Ruttko

### Redaktion:

LfU, Referat 26, Bernhard Ruttko

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Titelbild, Abb. 1 – Abb. 30, Abb. 32, Abb. 33, Abb. 35 – Abb. 39  
Sulzer Innotec, Sulzer-Allee 25, 8406 Winterthur (Schweiz); Abb. 31/S. 39, Abb. 34/S. 42, Abb. 44/S. 56, Abb. 45/S. 57,  
Abb. 50/S. 61  
EMPA, Eidgenössische Material Prüfungs- und Forschungsanstalt, Ueberlandstrasse 129, 8600 Dübendorf (Schweiz),  
Abb. 43/S. 56, Abb. 46/S. 59, Abb. 47/S. 59, Abb. 48/S. 60, Abb. 49/S. 61  
Wolter GmbH, Maschinen und Apparatebau, Am Wasen 11, 76316 Malsch; Abb. 40/S. 52  
Expert Verlag, Wankelstr. 13, 71272 Renningen, Strömungsakustik in Theorie und Praxis, Walter Lips, Abb. 41/S. 53  
Verlag Tribüne, Lärmschutz in der Praxis, Werner Schirmer; Abb. 42/S. 54

### Druck:

Kessler Druck + Medien GmbH & Co. KG  
Michael-Schäffler-Str. 1  
86399 Bobingen

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

### Stand:

Februar 2011  
Korrektur gegenüber der Druckfassung:  
S. 42, Tabelle letzte Zeile 75 dB (A) (nicht 80 dB (A))

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>III. Tieffrequente Geräusche bei „Luftwärmepumpen“</b>	
<b>9 Einleitung</b>	<b>34</b>
<b>10 Funktionsweise einer Luftwärmepumpe</b>	<b>35</b>
<b>11 Aufbau und Schallquellen einer Luftwärmepumpe</b>	<b>35</b>
<b>12 Schallleistungspegel und Frequenzverlauf (Tonhaltigkeit)</b>	<b>37</b>
<b>13 Beurteilung</b>	<b>39</b>
13.1 Prüfung, Immissionsrichtwerte	39
13.2 Zuschläge zum Beurteilungspegel	39
13.3 Raum-Innenmessung nach DIN 45680	40
13.4 Baurechtliche Bestimmungen und städtebauliche Planung	41
<b>14 Schallausbreitung und Möglichkeiten der Lärminderung</b>	<b>41</b>
14.1 Luftschall	41
14.1.1 Niederfrequente Geräusche und Auswahl eines Gerätes	41
14.1.2 Erforderliche Abstände (orientierende Berechnung)	42
14.1.3 Reflexionen und Richtcharakteristik	42
14.1.4 Aufstellung der Wärmepumpe und Schallschirme	43
14.1.5 Absorbierende Bekleidungen von Oberflächen	45
14.1.6 Ventilatoren	45
14.1.7 Luftkanalgestaltung	47
14.1.8 Luftkanaleinbauten und -auskleidungen	47
14.1.9 Schalldämpfer	48
14.1.10 Resonatorschalldämpfer	49
14.1.11 Lichtschächte	50
14.2 Innenlärm und Körperschall	51
14.2.1 Aufstellung und elastische Lagerung	51
14.2.2 Installation, Rohrleitungen und Luftkanallagerung	52
14.2.3 Einhausung und Kapselung	53
14.2.4 Entdröhnung von Blechen	53

<b>15</b>	<b>Schallschutzmaßnahmen</b>	<b>53</b>
<b>16</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>54</b>
<b>17</b>	<b>Literatur</b>	<b>55</b>
<b>18</b>	<b>Abbildungen</b>	<b>56</b>

## Vorwort

Aufgrund des weltweit steigenden Energiebedarfs werden die Ressourcen der fossilen Energiequellen wie etwa Öl oder Kohle schneller verbraucht als bisher angenommen. Der Einsatz und die Entwicklung alternativer Energiequellen werden aus diesem Grund beschleunigt.

Biogasanlagen oder der Einsatz von Luftwärmepumpen in Wohngebieten stellen dabei nur einen kleinen Bereich der alternativen Energien dar. Diese Anlagen bereiten aus der Sicht des Lärmschutzes immer wieder Probleme. Sie emittieren insbesondere auch tieffrequenten Schall, der von den Außenbauteilen der Gebäude, wie Wänden oder Fenstern weniger stark gedämmt wird als die übrigen Frequenzanteile. Als Folge dessen treten häufig Lärmbelästigungen speziell durch tieffrequenten Schall in Wohnungen auf. Der Leitfaden diskutiert diese Lärmproblematik und zeigt Lösungen auf, die die Geräuschsituation verbessern können.

In dem [Kapitel I](#) des Leitfadens werden die schalltechnischen Grundlagen und die einschlägigen Regelwerke zur Erfassung und Beurteilung von tieffrequenten Geräuschimmissionen vorgestellt. Im [Kapitel II](#) (s. S. 14) werden die tieffrequenten Geräusche von Biogasanlagen, und im [Kapitel III](#) (s. S. 34) die von Luftwärmepumpen behandelt.



Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle  
Präsident des Bayerischen Landesamtes für Umwelt



### III. Tieffrequente Geräusche bei „Luftwärmepumpen“

Wolfgang Fürst, Bayerisches Landesamt für Umwelt

## 9 Einleitung

In zunehmendem Maße werden Eigenheime, aber auch Mehrfamilienhäuser und Betriebsgebäude ohne Wohnnutzung mit Wärmepumpen beheizt. Laut Bundesverband Wärmepumpe e. V. waren Anfang 2010 ca. 350.000 Wärmepumpen in Deutschland installiert. Etwa ein Drittel davon in Bayern [10]. Ungefähr die Hälfte aller neu angeschafften Wärmepumpen sind Luftwärmepumpen. Bei diesen kommt es immer wieder zu Beschwerden wegen störender Geräusche, besonders wenn die Anlagen im Freien aufgestellt sind. Ein Problem stellen dabei die für diese Anlagen charakteristischen Geräuschemissionen im niederfrequenten Bereich dar, die oft als „Brummen“ wahrgenommen und als sehr störend empfunden werden. Die Belästigungen für Anwohner ergeben sich insbesondere durch den zeitlich uneingeschränkten Betrieb dieser Anlagen und aus dem abrupten Einschalten in den frühen Morgenstunden bei Wärmebedarf des Betreibers oder in der Nachtzeit, wenn ein günstiger Stromtarif vereinbart ist. Diese Einschaltvorgänge können zu Aufwachreaktionen bei den Nachbarn führen. Luftwärmepumpen haben ein hohes Beschwerdepotential, weil sie mit dazu beitragen, dass sich das Wohnumfeld aus der Sicht des Lärmschutzes wesentlich verschlechtert. Das Ruhebedürfnis der Betroffenen ist hoch, so dass auch niedrige Pegel nicht akzeptiert werden. Wärmepumpen sind immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen, die den Anforderungen der §§ 22 bis 24 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) unterliegen. Die Anlagen dürfen also nur so errichtet und betrieben werden, dass

- schädliche Umwelteinwirkungen u. a. durch Geräusche verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, und
- nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen findet grundsätzlich keine schalltechnische Überprüfung und keine Abnahme nach Inbetriebnahme statt. Nach § 24 BImSchG kann die zuständige Behörde aber im Einzelfall die zur Durchführung des § 22 BImSchG erforderlichen Anordnungen treffen. Bestimmungen zur Ermittlung der Geräuschemissionen von Anlagen und die Beurteilung anhand der dazugehörigen gebietsabhängigen Immissionsrichtwerte enthält die „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“ (TA Lärm). Sie ist für die Beurteilung zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche einschlägig.

Die Prüfung einer Anordnung im Einzelfall kommt insbesondere in Betracht, wenn bereits die vereinfachte Regelfallprüfung nach Nr. 4.2 TA Lärm oder die Prüfung auf Einhaltung der Anforderungen bei unvermeidbaren schädlichen Umwelteinwirkungen nach Nr. 4.3 TA Lärm ergibt, dass der Anlagenbetreiber die Grundpflichten für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen nicht erfüllt oder konkrete Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass Geräuschemissionen der Anlage einen relevanten Beitrag zu einer durch mehreren Anlagen hervorgerufenen schädlichen Umwelteinwirkung leisten. In die Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung (32. BImSchV, [21]) sind Luftwärmepumpen derzeit nicht eingeschlossen, sodass die Betriebszeitbeschränkungen dieser Vorschrift nicht anwendbar sind.

Es ist in hohem Maße gegenseitige Rücksichtnahme gefordert, damit keine wesentlichen Beeinträchtigungen für das Nachbargrundstück von Wärmepumpen ausgehen (vgl. auch §§ 906, 1004 BGB) und generell ist dafür Sorge zu tragen, dass neue und regenerative Energien wegen der von ihnen hervorgerufenen Lärmbelastung keinen Akzeptanzverlust erleiden.

## 10 Funktionsweise einer Luftwärmepumpe

Luftwärmepumpen sind Maschinen, die Wärme der Außenluft oder Abluft von dem niedrigen Temperaturniveau der Umwelt auf ein höheres Temperaturniveau anheben, um sie zu Heizzwecken zu nutzen. Hierfür wird Luft mit einem Ventilator angesaugt und über einen Kältemittelverdampfer geleitet. Die Umweltwärme wird in einem Kreislaufprozess der Umgebung durch das Kältemittel entzogen, wobei es bei der niedrigeren Umgebungstemperatur zum Verdampfen gebracht wird. Bei der Verflüssigung (Kondensation) gibt es diese Umweltwärme bei einer höheren Temperatur an den Heizkreislauf ab. Dazu wird das Kältemittel zuvor verdichtet. Die Bezeichnung Wärmepumpe beruht also darauf, dass Wärmeenergie aus der Umwelt unter Zufuhr von technischer Arbeit auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau angehoben (gepumpt) wird.

Zur Beheizung von Gebäuden werden im unteren Leistungsbereich überwiegend Elektro-Kompressionswärmepumpen verwendet, bei höheren Leistungen auch Gasmotorwärmepumpen. Für den Kreislaufprozess kommt also meist elektrische Energie für den Verdichter (Kompressor) zum Einsatz. Die wesentlichen Bestandteile dieser Systeme sind der Verdampfer, der Verdichter (Kompressor), ein Verflüssiger (Kondensator) und schließlich ein Expansionsventil (Drossel) zum Entspannen des Kältemittels.

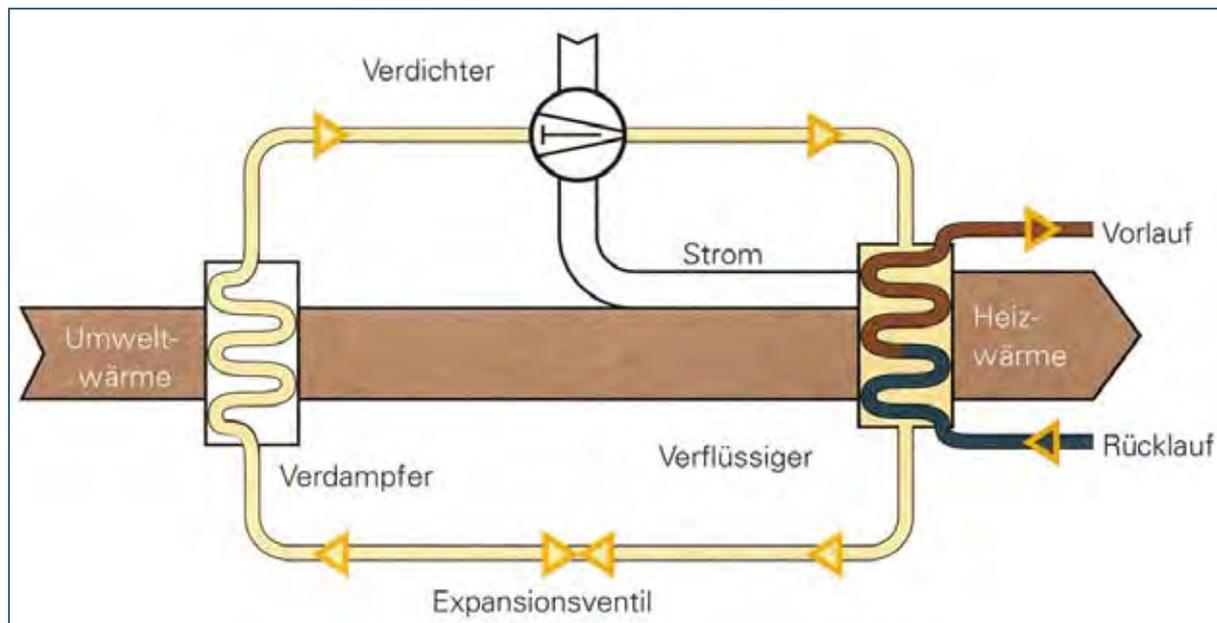


Abb. 30: Funktionsprinzip der Wärmepumpe [12]

Das Verhältnis der an den Heizkreislauf abgegebenen nutzbaren Wärmeleistung zur zugeführten (elektrischen) Leistung wird als Leistungszahl bzw. als COP („Coefficient of Performance“) bezeichnet.

## 11 Aufbau und Schallquellen einer Luftwärmepumpe

Hauptschallquellen sind der Ventilator, der Verdichter (Kompressor), die Rohrleitungen und Luftkanäle sowie u. U. schwingende Verkleidungsbleche. Bei der Schallabstrahlung ist zwischen Luft- und Körperschall zu unterscheiden. Für im Freien aufgestellte Luftwärmepumpen ist in der Regel nur der abgestrahlte Luftschall von Bedeutung, während bei Wärmepumpen und Wärmepumpenteilen im Innern von Gebäuden sowohl der Luft- als auch der Körperschall beachtet werden muss.

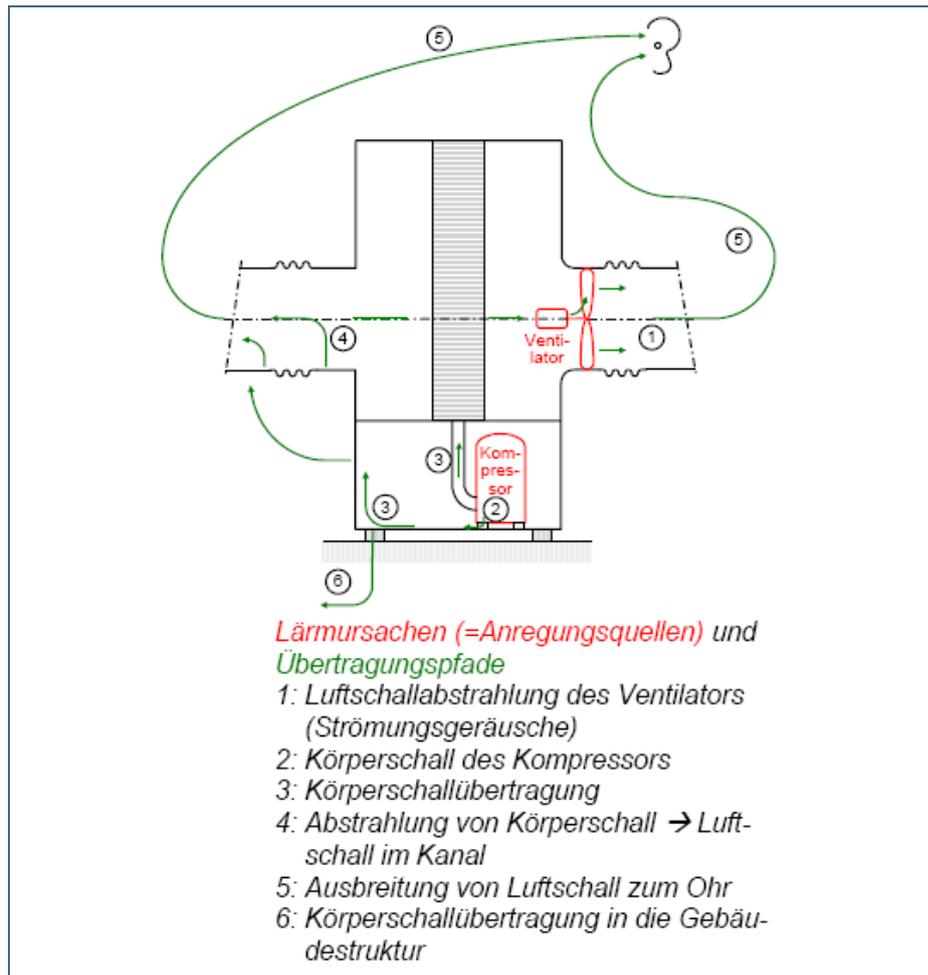


Abb. 31:  
Aufbau einer Luftwärmepumpe und Schallübertragungspfade [14]

Den größten Anteil am Gesamtgeräusch hat in der überwiegenden Anzahl der Fälle der Ventilator. An den Ventilatorschaufeln entstehen Wirbel und Druckschwankungen, die als Lärm an die Umgebung abgestrahlt werden. Die anderen Lärmursachen sollten aber nicht vernachlässigt werden. Hier ist neben Luftschall vom Kompressor, auch die Körperschallübertragung vom Kompressor und von den Kompressorleitungen auf andere Gerätebauteile, auf den Boden oder die Wand und von dort auf andere umliegende Gebäudewände zu nennen, die dann ihrerseits Schall abstrahlen. Es müssen alle relevanten Ursachen und Schallübertragungspfade berücksichtigt werden. Zu nennen sind hier das Abtaugeräusch, elektrische und sonstige Strömungsgeräusche, für die es Dämpfungsmöglichkeiten, wie Kapselung, Pulsations- oder Entspannungsdämpfer gibt. Maßnahmen an der stärksten Lärmquelle sind am wirksamsten, weil leise Störungen zunächst überdeckt werden.

Relativ komplex ist die Lärmentwicklung bei Strömungen, also insbesondere im Luftkanal, an den Verdampferlamellen oder in den Kältemittelleitungen, z. B. am Expansionsventil. Hauptursachen sind pulsierende Strömungen durch den Kolben des Kompressors und Turbulenzen bei der Umströmung von Hindernissen und Kanten. So entstehen freie Wirbel an den Ein- und Auslassöffnungen bzw. Strömungsinstabilitäten und Dichteschwankungen. Eine turbulenzfreie (laminare) Strömung ist in technischen Bauteilen selten. Von erheblichem Einfluss ist die Geschwindigkeit des strömenden Mediums, die bei vorgegebener thermischer Leistung und dem hierfür erforderlichen Luftstrom, vom Querschnitt des durchströmten Bauteils abhängt. Bei größerem Querschnitt kann die Luft langsamer strömen und ist leiser.

Im Gegensatz zu Erdwärme- oder Wasser- bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen, die in der Regel nur innen aufgestellt werden, ist bei Luftwärmepumpen eine Innen- oder Außenaufstellung möglich. Die Einzelkomponenten dieser Wärmepumpen sind, mit längeren Rohren verbunden, auf einfache Weise auch teilweise innen oder außen aufstellbar. So kann z. B. nur der Verdampfer und der Ventilator im Freien platziert sein, der Kompressor aber innen stehen (Splitgeräte). Verdampfer- und Ventilatorgröße sind dann leichter zu dimensionieren und aufeinander anpassbar. Prinzipiell ist es denkbar, für jedes Teilgerät einen schalltechnisch günstigen Standort und auch eine günstigste Größe auszuwählen. Die Abstände der Teile der Anlage dürfen wegen der dann erforderlichen Länge der Rohrleitungen nicht zu groß sein. Sogenannte Kompaktgeräte weisen diesbezüglich weniger Flexibilität auf.

Vor allem außen montierte Luftwärmepumpen oder Wärmepumpenteile können in einem größeren Umkreis anliegende Nachbarn belästigen. Sie verursachen aber über die Luftansaugöffnungen außen auch dann noch eine Lärmbelästigung, wenn sie im Gebäudeinneren aufgestellt sind. Strömungswirbel in den Rohren und Luftkanälen, sowie an Verkleidungs- bzw. Wetterschutzgittern führen zu Druckschwankungen, die als Lärm durch die Öffnungen abgestrahlt werden und die in der Regel eine erhebliche Richtcharakteristik aufweisen. Hierbei ist von Bedeutung, dass sie 24 Stunden am Tag, also auch in der empfindlichen Nachtzeit betrieben werden.

Luftwärmepumpen sind starken Schwankungen ausgesetzt, was auf die Energieeigenschaften des Wärmeträgers Luft zurückzuführen ist. Besonders im Winter ist der Wirkungsgrad der Wärmepumpe, also das Verhältnis zwischen nutzbarer zu aufgewendeter Energie ungünstiger. Sie müssen länger laufen und eine Vereisung muss vermieden werden. Entscheidend für die Gesamtbetriebsdauer ist auch der Energieverbrauch des Gebäudes, einschließlich des Warmwasserbedarfs. Bei gut gedämmten Häusern laufen die Anlagen kürzer. Für die Beurteilung des Lärms bleibt aber die lauteste Nachtstunde entscheidend.



Abb. 32:  
Wärmepumpe (Schalleistungspegel laut Datenblatt 62 dB(A))

## 12 Schalleistungspegel und Frequenzverlauf (Tonhaltigkeit)

Die immissionswirksamen Schalleistungspegel liegen für den überwiegenden Teil der innen aufgestellten Luftwärmepumpen bei ca. 55 dB(A) bis 60 dB(A), für außen aufgestellte in der Mehrzahl bei 62 dB(A) bis 67 dB(A). Die Pegel der Anlagen streuen jedoch in einem weiteren Bereich von ca. +/- 15 dB(A) um diese Mittelwerte. Es zeigt sich, dass der Stand der Schallschutztechnik bereits bei ei-

nem Schallleistungspegel von etwa 50 dB(A) liegt, die meisten Anlagen aber erheblich lauter sind. Anlagen mit einer größeren Leistung oder Leistungszahl müssen nicht mehr Lärm erzeugen, als kleine oder solche mit geringerer Leistungszahl [13].

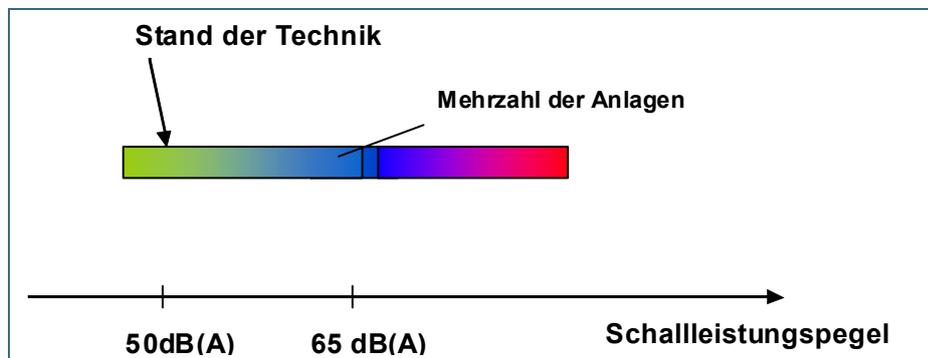


Abb. 33:  
Stand der Technik bei  
Luftwärmepumpen

Die Betrachtung der Frequenzzusammensetzung des Geräusches (Tonhaltigkeit) ist für die Beurteilung der Lästigkeit wichtig, vor allem wenn Einzeltöne hervortreten.

Ursachen sind, neben dem Kompressor, insbesondere die Geräusche durch die Ventilatorschaufeln und eventuell Emissionen des Ventilatorantriebes selbst. Werden die Bleche der Luftkanäle oder sonstige Gehäuseteile zu Resonanzen angeregt, breiten sich hiervon ausgehend tonhaltige Geräusche in die Umgebung aus. Die frequenzabhängigen Geräuschanteile sind in der Folge bei der Dimensionierung von Schalldämpfern oder absorbierenden Auskleidungen zu berücksichtigen und auch für die Wirksamkeit von Abschirmungen bedeutend. Einzeltöne bei ganzzahligen Vielfachen der Kompressordrehzahl und der Ventilator-Schaufelfrequenz (Grundton und Obertöne) treten besonders hervor. Um die Schaufelfrequenzen zu erhalten, muss die Ventilator-drehzahl von Minuten in Sekunden umgerechnet und mit der Schaufelanzahl multipliziert werden.

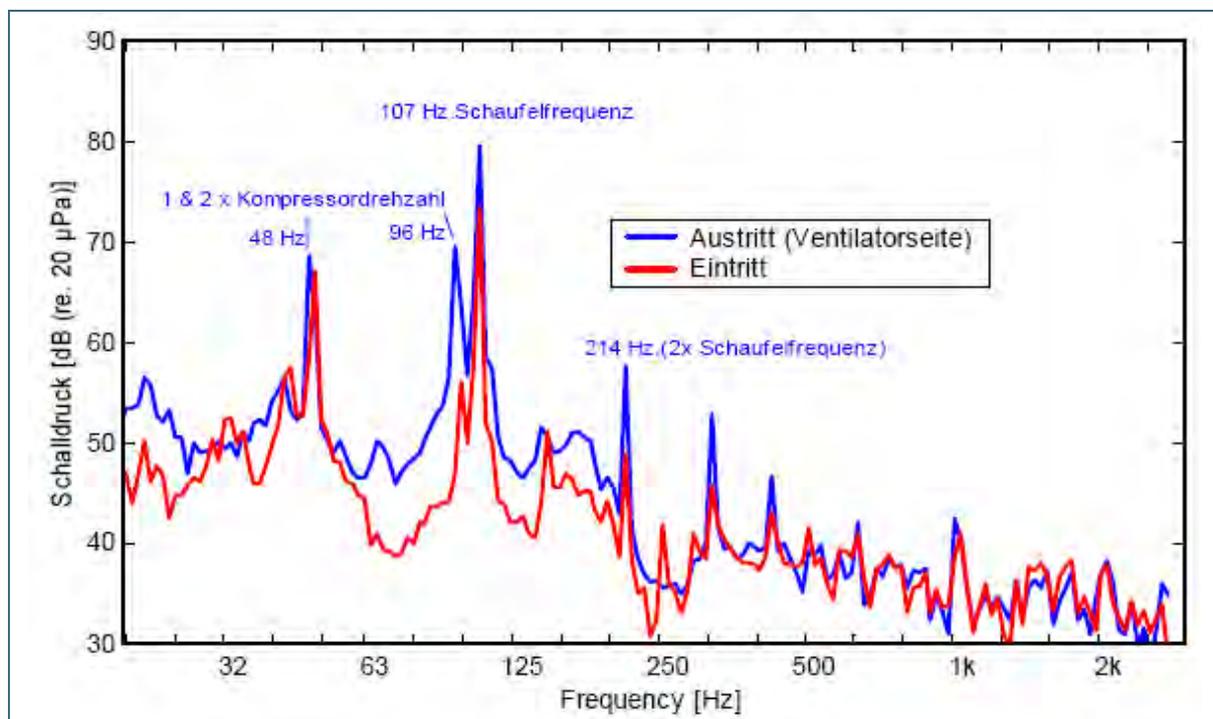


Abb. 34: Typisches Frequenzspektrum einer Luftwärmepumpe [14]

Abb. 34 zeigt typische Schallleistungsmaxima im niedrigen Frequenzbereich für Luftwärmepumpen.

## 13 Beurteilung

### 13.1 Prüfung, Immissionsrichtwerte

Die Beurteilung erfolgt für Luftwärmepumpen als Anlagen nach § 3 Abs. 5 BImSchG nach der TA Lärm. Zur Vermeidung von schädlichen Umwelteinwirkungen dürfen grundsätzlich die Immissionsrichtwerte der TA Lärm nicht überschritten werden. Diese beziehen sich auf unterschiedliche Gebietsarten und auch auf bestimmte Zeiten, nämlich tags von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr und nachts 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr. Es ist auf den Gesamtlärm aller Anlagen abzustellen. Maßgebend für die Beurteilung ist wegen der um 15 dB(A) niedrigeren Nachtimmissionsrichtwerte die Nachtzeit. Hier gilt die sogenannte lauteste Nachtstunde, also eine volle Stunde (z. B. 1:00 bis 2:00 Uhr) mit dem lautesten Beurteilungspegel, zu der die Anlage relevant beiträgt.

Luftwärmepumpen werden in den meisten Fällen, insbesondere bei kalter Witterung und wenn ein erhöhter Warmwasserbedarf besteht, auch nachts in der Regel mindestens eine volle Stunde laufen.

Wegen der Summenwirkung sollte eine einzelne Wärmepumpe die jeweiligen Immissionsrichtwerte unterschreiten. Auch die Gleichbehandlung der Wohneigentumsbesitzer legt es nahe, von vorne herein reduzierte Immissionsrichtwerte anzusetzen. Sonst könnte bereits eine einzige Anlage den Immissionsrichtwert ausschöpfen.

### 13.2 Zuschläge zum Beurteilungspegel

Zu beachten ist, dass tiefe Frequenzen, Töne und Informationshaltigkeit eines Geräusches, als besonders lästig empfunden werden. Insbesondere störende Brummtöne breiten sich weit aus und werden selbst durch Isolierfenster nicht ausreichend gemindert. Bei Lärmmessungen an Luftwärmepumpen-Anlagen wurde zwar festgestellt, dass sie nicht tieffrequent im Sinne der TA Lärm waren, trotzdem wiesen sie diesbezüglich eine gewisse Lästigkeit auf und auch eine gewisse Tonhaltigkeit. Darüber hinaus änderte sich die Frequenz der Maximalpegel, je nachdem in welcher Stufe die Anlage läuft, was neben dem Anlagengeräusch eine gewisse zusätzliche Informationshaltigkeit darstellt. Höhere Stufen weisen ihre Pegelmaxima bei höheren Frequenzen auf, müssen aber nicht lauter sein. Tab. 7 zeigt die Terzanalyse einer typischen Luftwärmepumpe.

Frequenz	Stufe 5	Stufe 6	Stufe 7	Stufe 8
	$L_{Zeq}$ [dB(A)]	$L_{Zeq}$ [dB(A)]	$L_{Zeq}$ [dB(A)]	$L_{Zeq}$ [dB(A)]
40 Hz	47,7	43,9	46,2	50,5
50 Hz	48,8	47	43,2	52,9
63 Hz	48	46,6	49,8	50,3
80 Hz	45,9	41,4	46,4	42,3
100 Hz	61,6	63,4	46,2	46,6
125 Hz	45,1	59,9	47,1	59,5
160 Hz	45,4	45,6	44,6	49,5
200 Hz	43,7	43,9	45,8	44,5

Tab. 7:  
Terzanalyse einer Luftwärmepumpe mit tonhaltigem Frequenzverhalten in unterschiedlichen Betriebsstufen

Um die Ton- und Informationshaltigkeit bei der Beurteilung zu berücksichtigen, erschien gemäß TA Lärm für die hier vermessene Anlage ein Zuschlag von + 6 dB(A) angemessen.

### 13.3 Raum-Innenmessung nach DIN 45680

Bei Beschwerden über niederfrequente Geräusche wird oftmals über Brummen oder Wummern der betroffenen Räume geklagt. Ein Außengeräusch oder eine Körperschallübertragung im Gebäudeinneren regt im Raum Resonanzen an. Aufschluss hierüber kann eine Raum-Innenmessung nach DIN 45680 mit anschließendem Vergleich mit der Hörschwelle geben. Die Norm legt ein Verfahren zur Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in Gebäuden bei Luft- und Körperschallübertragung fest. Hierbei muss der Raum akustisch, schmalbandig abgetastet und das Frequenzspektrum nach Terzen analysiert und bewertet werden. Abb. 35 zeigt eine Messung an einer Luftwärmepumpe mit einem Messpunkt in einem Raum (blau) und vor dem Gebäude (grün). Die eingetragene Hörschwelle nach DIN 45680 wird innen nicht überschritten, sondern nur außen.

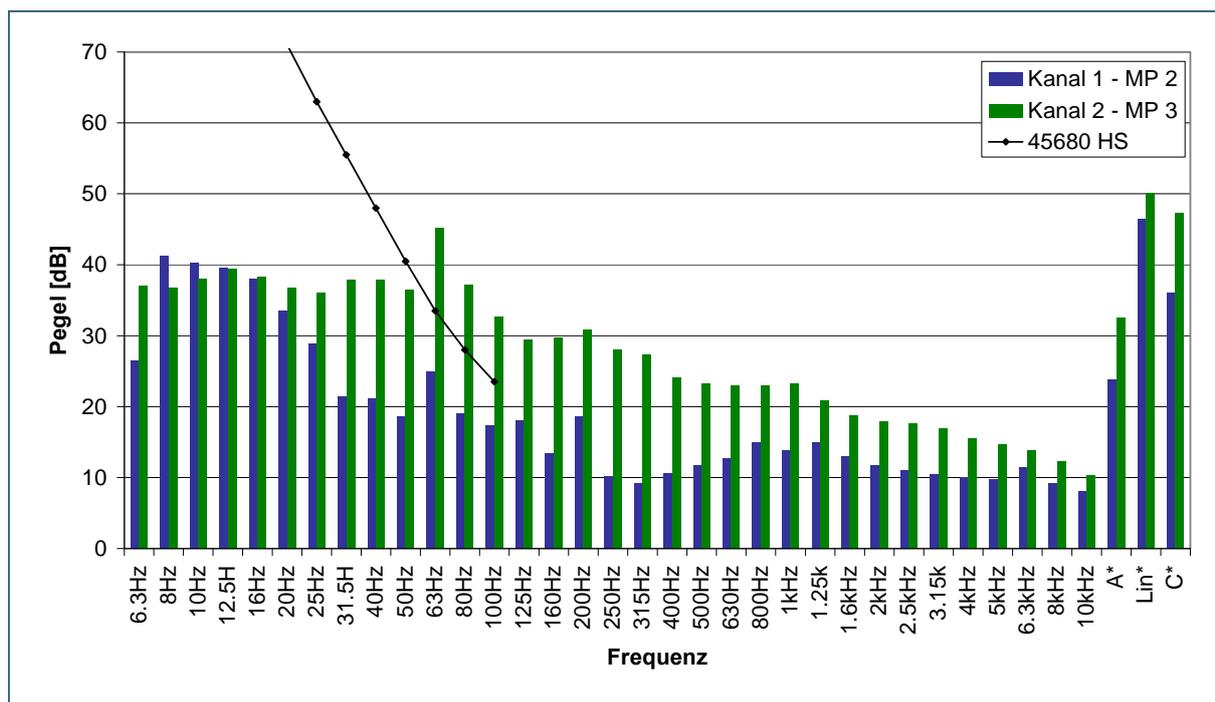


Abb. 35: Gleichzeitige Innen- und Außenmessung aufgeteilt nach Terzen an einer Luftwärmepumpe

Bei der Messung an einer anderen Luftwärmepumpe wurden dagegen, wie in Abb. 36 zu sehen ist, Überschreitungen der Hörschwelle auch im Gebäudeinneren festgestellt.

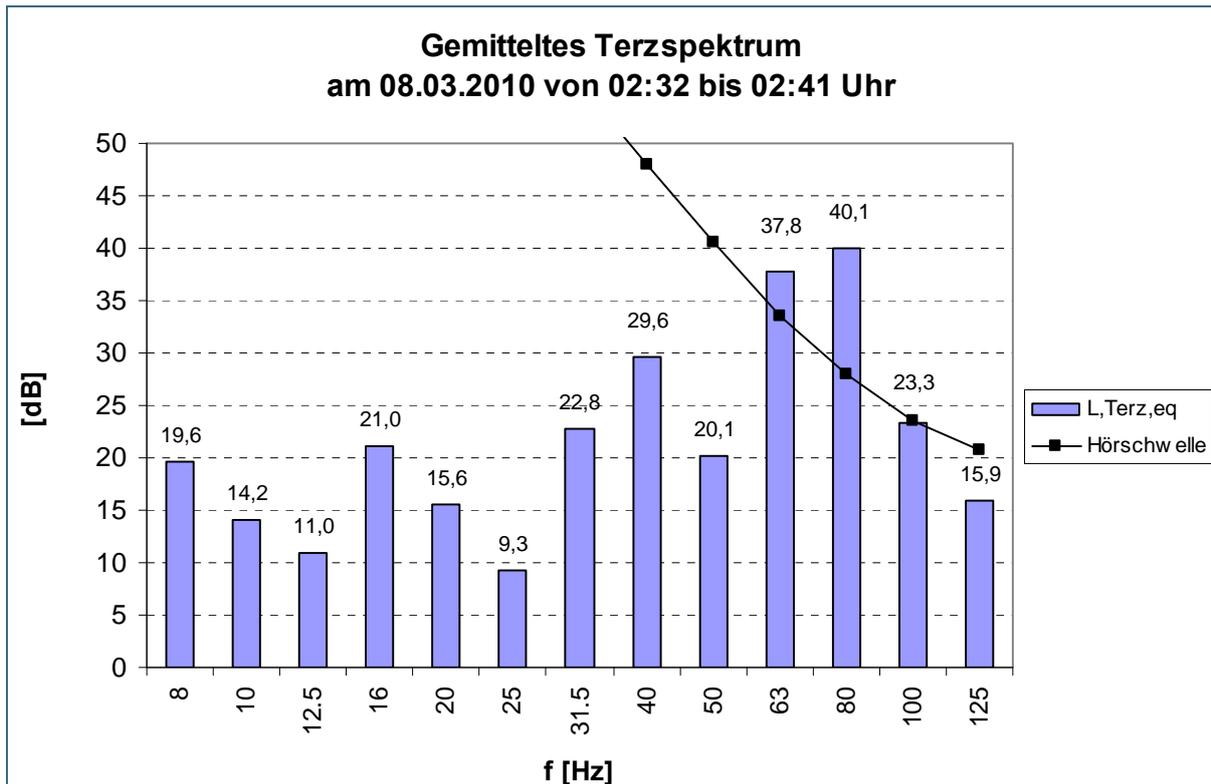


Abb. 36: Terzanalyse einer Raum- Innenmessung nach DIN 45680 wegen einer Luftwärmepumpe mit tonhaltigen Frequenzverlauf bei tiefen Frequenzen und Überschreitungen

In Beiblatt 1 zu DIN 45680 werden Hinweise zur Beurteilung gegeben. Es werden Anhaltswerte für Aufenthaltsräume, die Wohnzwecken dienen, und für Räume mit vergleichbarer Schutzwürdigkeit genannt. Im Allgemeinen wird keine erhebliche Belästigung durch tieffrequente Geräuschemissionen anzunehmen sein, wenn die Anhaltswerte unterschritten sind.

### 13.4 Baurechtliche Bestimmungen und städtebauliche Planung

Immissionsschutzrechtlich ist die Wärmepumpe als nicht genehmigungsbedürftige Anlage zu beurteilen. Es wird empfohlen, baurechtliche Vorgaben zu machen und die Unterschreitung eines reduzierten Immissionsrichtwerts oder Immissionsrichtwertanteils bereits für die Einzelanlage in einem Bebauungsplan vorzuschreiben.

## 14 Schallausbreitung und Möglichkeiten der Lärminderung

### 14.1 Luftschall

#### 14.1.1 Niederfrequente Geräusche und Auswahl eines Gerätes

Generell ist festzustellen, dass niederfrequente Geräusche schwer zu mindern sind. Die tiefen Frequenzanteile breiten sich gut aus und sind schwer zu bedämpfen. Höhere Frequenzen werden auf dem Ausbreitungsweg durch Luft- und Bodenabsorption besser abgeschwächt.

Da Wärmepumpen einen relativ hohen Anteil von niedrigen Frequenzen aufweisen, ist bei ihnen besonders auf die Auswahl eines leisen Gerätes zu achten. Spätere Lärminderungsmaßnahmen sind aufwendig und teuer. Am Besten sind leise Geräte mit Innenaufstellung und optimierten Luftkanälen, die die lärmschutzfachlichen Anforderungen erfüllen. Einzelne Geräte, die dem derzeit besten Stand

der Schallschutztechnik entsprechen, weisen einen immissionswirksamen Schalleistungspegel von nur ca. 50 dB(A) auf (z. B. Splitgeräte).

#### 14.1.2 Erforderliche Abstände (orientierende Berechnung)

Die erforderlichen Abstände zum Immissionsort sowie die notwendigen Lärmschutzmaßnahmen sind grundsätzlich abhängig von der Festlegung der Immissionsrichtwerte. Die folgende Tabelle zeigt die Abstände für verschieden laute Wärmepumpen, die einzuhalten sind, um die um mindestens 6 dB(A) reduzierten Nacht-Immissionsrichtwerte nach TA Lärm (Nr. 3.2.1) zu unterschreiten (Berücksichtigung der Summenwirkung mit anderen Anlagen). Für die orientierende Berechnung wurde von einer Außenanstellung an einer Außenwand und einem Lästigkeitszuschlag für eine niederfrequente Tonhaltigkeit von 6 dB(A) ausgegangen. Nicht berücksichtigt sind eine Hindernisdämpfung, z. B. durch Schallschirme oder Mehrfachreflexionen. Bei ungünstigen Fällen könnte sich durch Reflexionen der erforderliche Abstand verdoppeln. Ein Vergleich mit den oben angegebenen Schalleistungspegeln zeigt deutlich, dass die meisten Wärmepumpen für herkömmliche Bebauungssituationen nicht geeignet sind, so dass Einhausungen und Abschirmungen notwendig werden.

Tab. 8: Erforderliche Abstände in Abhängigkeit der Baugebietsnutzung (Prognose), Ansätze für die Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 E: Punktquelle vor Wand, überwiegend poröser Boden, freie Schallausbreitung, Höhe EO:1,5 m, Höhe IO: 2 m,  $C_{met} = 0$ ; berechnet mit einem EDV-Programm, in ungünstigen Fällen (Reflexionen) kann sich der Abstand verdoppeln; WR: reine Wohngebiete, WA: allgemeine Wohngebiete, MI: Mischgebiete, GE: Gewerbegebiete, IRW: Immissionsrichtwert

Schalleistungspegel der Wärmepumpe	Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit (z. B.)	Nutzungszeit	Erforderlicher Abstand zwischen Wärmepumpe und schutzbedürftiger Bebauung in einem			
			WR	WA	MI	GE
			Nacht- IRW jeweils um 6 dB(A) reduziert			
45 dB(A)	6 dB	Nachts	6,7 m	3,4 m	1,6 m	< 1 m
50 dB(A)	6 dB	Nachts	12,4 m	6,7 m	3,4 m	1,6 m
55 dB(A)	6 dB	Nachts	22,2 m	12,4 m	6,7 m	3,4 m
60 dB(A)	6 dB	Nachts	31,8 m	22,2 m	12,4 m	6,7 m
65 dB(A)	6 dB	Nachts	48,8 m	31,8 m	22,2 m	12,4 m
70 dB(A)	6 dB	Nachts	79,2 m	48,8 m	31,8 m	22,2 m
75 dB(A)	6 dB	Nachts	133,0 m	79,2 m	48,8 m	31,8 m

Die Abstände können sich im Einzelfall reduzieren, wenn die Anlage den Lärm nicht, wie in der Tabelle angenommen, gleichmäßig in alle Richtungen abstrahlt und günstig aufgestellt wird. Auch die Richtcharakteristik kann ausgenutzt werden.

#### 14.1.3 Reflexionen und Richtcharakteristik

Bei näherer Untersuchung der individuellen Aufstellungsbedingungen in einer konkreten Bebauungssituation ergab sich für die Belastung am Immissionsort eine erhebliche Abweichung der Messung vom erwarteten, berechneten Beurteilungspegel, bei dem nur die geometrische Ausbreitungsdämpfung angesetzt wurde. Dies wird durch Reflexionen an umliegenden Fassaden und durch die Richtcharakteristik der Luftwärmepumpe hervorgerufen. Eine Simulation mit einem schalltechnischen Berechnungsprogramm bestätigt dies. Die Anlage strahlt nicht gleichmäßig in den Raum aus, sondern gebündelt und der Schall wird von Fassaden zurückgestrahlt. Für diesen Einzelfall ergibt sich durch die Reflexionen und die Richtwirkung rechnerisch eine Erhöhung um ca. 4,7 dB(A). Dies entspricht dem

Einwirken von drei Anlagen. Nach [18] können sich in ungünstigen Fällen um bis zu 6 dB(A) höhere Schallleistungspegel ergeben. Für die Luftwärmepumpen heißt dies, dass sich der erforderliche Abstand verdoppelt, bzw. sie entsprechend leiser sein müssen.

Bei der Prognose des Beurteilungspegels scheiden deshalb überschlägige Ermittlungen oftmals aus und es müssen detaillierte Überlegungen oder Berechnungen durchgeführt werden. Abb. 37 zeigt eine Rasterberechnung für einen konkreten Fall. Der Beschwerdeführer war nicht am meistbetroffenen, maßgebenden Immissionsort.

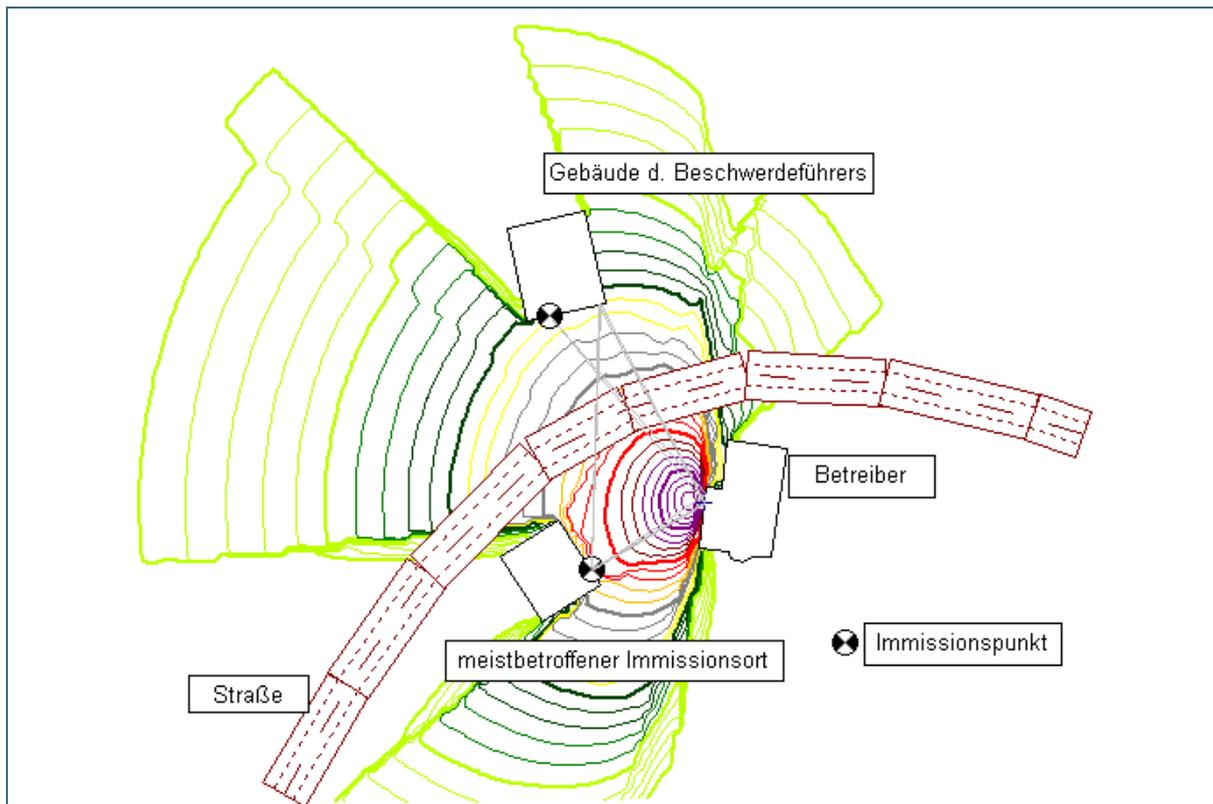


Abb. 37: Rasterberechnung mit Immissionspunkten an zwei Gebäuden (Schallstrahlen grau)

#### 14.1.4 Aufstellung der Wärmepumpe und Schallschirme

Bei der unter Nr. 14.1.2 gemachten Berechnung wurde eine Punktquelle vor einer Wand angenommen. Die Luftwärmepumpe strahlt also nicht ringsum, sondern nur in einen Teil des Raumes ab – man spricht vom Viertelraum. Ist eine Schallquelle auf dem Boden, ohne Wand abgestellt, strahlt sie in den Halbraum über dem Boden ab und am Immissionsort reduzieren sich die Pegel um 3 dB(A), wenn sonst keine Reflexionen oder Richtwirkungen auftreten. Wird die Luftwärmepumpe in einer Ecke aufgestellt, verteilt sich der Schall nur in einem Achtelraum und der Beurteilungspegel erhöht sich um 3 dB(A) gegenüber einer Wand-Montage.

Die Außeninstallation einer Wärmepumpe ist aus der Sicht des Lärmschutzes ungünstiger, als eine Innenaufstellung mit optimierten Luftkanälen. Luftwärmepumpen erzeugen aber auch Außenlärm, wenn sie im Hausinneren aufgestellt sind. Dies liegt daran, dass Lärm vom Kompressor und vom Ventilator durch die Zu- und Abluftschächte nach außen dringt. Ferner entstehen Strömungsgeräusche der Luft, durch die großen umgesetzten Luftmengen.

Pegelminderungen können durch eine geeignete Aufstellung der Wärmepumpe im Gebäudeinneren und die richtige Positionierung der Ab- und Zuluftschächte auf die zum Immissionsort abgewandte

Seite erzielt werden. Hierbei muss aber auf reflektierende Fassaden geachtet werden, von denen der Schall in ungünstige Richtungen gelenkt werden kann oder hin und her reflektiert, wobei er sich noch verstärkt (Mehrfachreflexionen). Wichtig ist die Berücksichtigung der Empfindlichkeit der Nutzung der betroffenen Räume an den Immissionsorten. Nach DIN 4109 sind schützenswerte Räume:

- Wohnräume, einschließlich Wohndielen
- Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume (ausgenommen Großraumbüros), Praxisräume, Sitzungsräume und ähnliche Arbeitsräume.

Schützenswert ist auch der Außenwohnbereich, also Terrassen und Balkone.

Die Innenaufstellung der Luftwärmepumpe kann eine Pegelminderung um bis zu ca. 8 dB(A) bringen, die Positionierung der Luftöffnung an einer seitlichen, statt einer zum Immissionsort hin orientierten Fassade bewirkt eine Minderung um mindestens ca. 5 dB(A), für die Anordnung an einer abgewandten Fassade (Rückseite des Gebäudes) gilt als Faustwert eine Minderung um etwa 15 dB(A) bis 20 dB(A).

Auch die Aufstellung hinter Schallschirmen (z. B. Schallschutzwände) kann in Frage kommen. Diese müssen nahe an der Schallquelle platziert sein und die Sichtverbindung zum Immissionsort deutlich unterbinden, weil der Schall um die Schirmkanten gebeugt wird. Die Wirkung der Maßnahme nimmt mit der Entfernung von Quelle und Empfänger vom Schirm ab. Um Reflexionen und Mehrfachreflexionen zwischen Schirm und an umliegenden Fassaden zu vermeiden, muss geprüft werden, ob der Schallschirm zumindest einseitig hochabsorbierend ausgeführt sein muss, wobei die niedrigen Frequenzanteile leider trotzdem überwiegend reflektiert werden.

Bei ausreichender Dimensionierung und günstiger Lage der Abschirmung können Minderungen von ca. 10 dB(A) bis 15 dB(A) erreicht werden. Abschirmungen sind auch direkt der Zu- oder Abluftöffnung vorsetzbar (Abb. 38). Durch einfache, teilweise Umschließungen einer Schallquelle erreicht man Schallminderungen von 5 dB(A) bis 10 dB(A) [19].

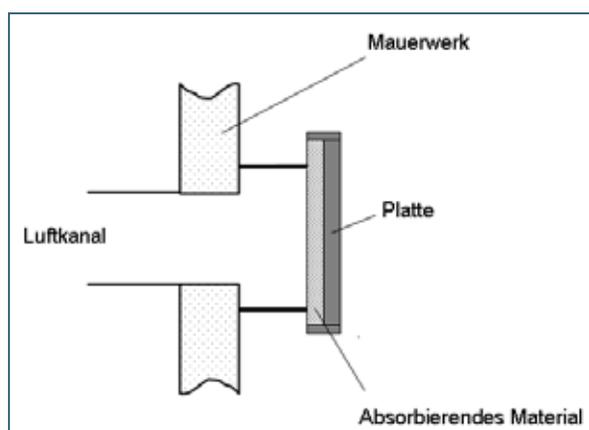


Abb. 38:  
Einfache Vorsatzschale  
vor einer Öffnung

Allerdings nimmt die Wirkung von Schirmen bei tiefen Frequenzen stark ab – man muss den Schall in eine unempfindliche Richtung, z. B. auch nach oben ablenken, um den immissionswirksamen Anteil zu mindern. Die Vorrichtungen sollten ein bewertetes Schalldämmmaß  $R'_{w}$  von mindestens 25 dB aufweisen. Sträucher und Jalousien haben an den betroffenen Fenstern keine pegelmindernde Wirkung.

### 14.1.5 Absorbierende Bekleidungen von Oberflächen

Flächen, die mit Schall beaufschlagt sind, sollten mit absorbierenden Materialien verkleidet werden. Bei der Absorption wird Schall in Wärme umgewandelt. Wichtig sind hier der Strömungswiderstand des Absorbermaterials und andere Dämpfungsmechanismen. Der Absorptionsgrad hängt von der Materialstärke ab.

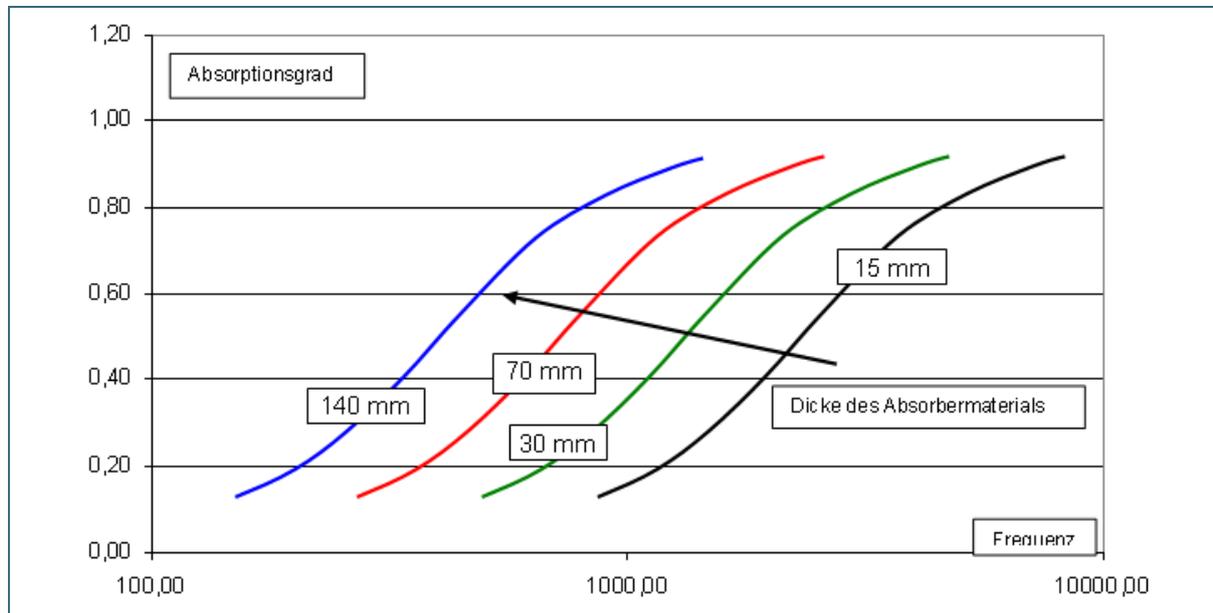


Abb. 39: Absorptionsgrad in Abhängigkeit von der Materialstärke

Man sieht in Abb. 39, dass für tiefe Frequenzen große Materialstärken erforderlich sind und trotzdem keine gute Lärminderung eintritt. Es ist also von vornherein auf eine geringe Entstehung und Ausbreitungsfähigkeit solcher tiefen Frequenzen in den Gehäusen und in den Luftkanälen zu achten. Als abdeckendes Material können Lochbleche zum Einsatz kommen mit einem Lochflächenverhältnis von mindestens 30 %. Darunter gibt es Resonanzeffekte. Hinweise für geeignetes Material geben Hersteller von Akustikbauteilen und Akustikmaterialien.

### 14.1.6 Ventilatoren

90 % des Lärms von Luftwärmepumpen erzeugen die Ventilatoren. In Wärmepumpen werden überwiegend Axial- und Radial-Ventilatoren eingesetzt. Sie können rückwärts oder vorwärtsgekrümmte Schaufeln haben. Diese Ventilatorarten haben zwar unterschiedliche Strömungs- und Lärmeigenschaften, vergleicht man aber den Gesamtlärm, so unterscheiden sich diese Bauarten bei vergleichbarer Luftleistung kaum. Die Lärmentwicklung eines Ventilators hängt vom Betriebspunkt, also dem Förderdruck und dem Volumenstrom ab. Zu achten ist auf den Frequenzverlauf. Bei tieffrequentem Lärm, müssen Schallschirme und Schalldämpfer aufwendiger sein.

Haupteinflussgröße beim Ventilatorlärm ist der Volumenstrom und damit die Drehzahl. Halbiert man den Volumenstrom auf 50 % des Nennwertes durch Halbierung der Drehzahl, vermindern sich die Geräusche nach praktischen Erfahrungen um ca. 15 dB(A) bis 18 dB(A) [16]. Theoretisch nimmt der Schallleistungspegel um ca. 0,25 dB(A) pro 1% Drehzahlsteigerung zu, bei freien Wirbelquellen noch mehr, nämlich um 0,34 dB(A) [17]. Somit erscheint die Reduktion der Drehzahl als geeignetes Mittel zur Lärminderung. Verwendet man z. B. zwei Ventilatoren um einen bestimmten Volumenstrom zu erreichen, kann man rechnerisch eine Lärminderung von insgesamt ca. 12 dB(A) bis 15 dB(A) erwarten. Dann sind aber größere Verdampfer und Kanalquerschnitte erforderlich, was sich günstig auf die Strömungsgeschwindigkeit und die Geräusche auswirkt.

Setzt man größere Ventilatoren ein, ist ein höherer Volumenstrom bei kleinerer Strömungsgeschwindigkeit erzielbar. Ein gegenläufiger Aspekt ist hier aber die steigende Umfangsgeschwindigkeit der Ventilatorschaufelspitzen. Bei selber Drehzahl hat zum Beispiel nach [17] ein Ventilator mit einem Schaufeldurchmesser von 560 mm einen um ca. 8 dB(A) höheren Schallleistungspegel, als ein Ventilator mit einem Durchmesser von 450 mm.

Wichtig ist es also Baugröße, Drehzahl und Betriebspunkt (Förderdruck und Volumenstrom) aufeinander abzustimmen und den Punkt für die minimale Lärmentwicklung zu finden. Die erzeugte Schallleistung ist im Übrigen auch proportional zur Nennleistung des Ventilators, sodass eine Überdimensionierung vermieden werden muss. Die Ventilatorhersteller haben in der Regel sehr ausführliche Informationen über die Geräuschentwicklung ihrer Produkte und geben auch Empfehlungen für die Typenwahl und zu den Einbauverhältnissen. Die Schallleistung wird i. d. Regel auf 3 dB(A) genau garantiert.

An Aufhängungen und Schutzgittern an denen die Ventilatorschaufeln vorbeilaufen, entstehen Störungen – Luftzonen mit Strömungs- und Druckschwankungen und regelmäßige Druckimpulse, die ein tonhaltiges Geräusch hervorrufen können. Auch eine ungünstige Kanalgestaltung mit Stellen mit lokalen Wirbeln im Luftstrom kann solche Geräusche verursachen. Diese sollte auf alle Fälle vermieden oder minimiert werden.

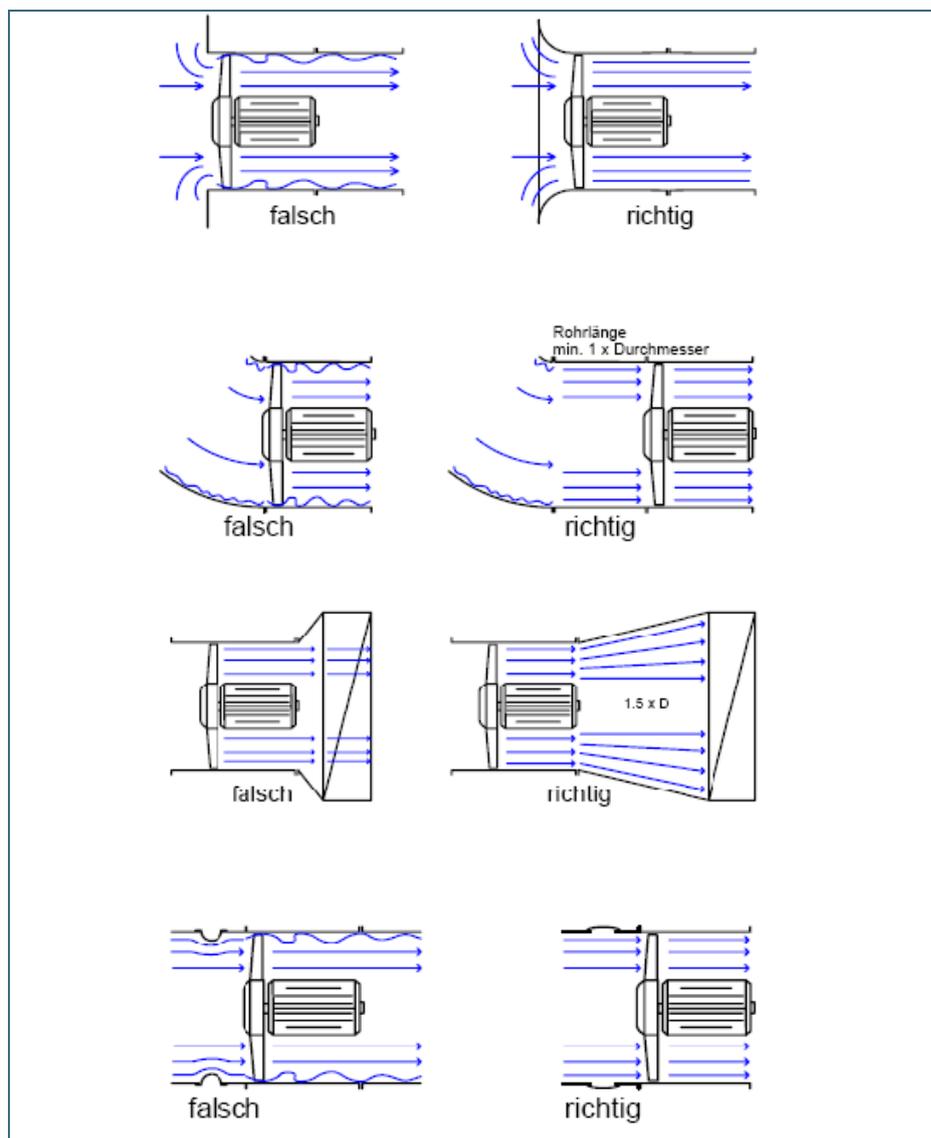


Abb. 40:  
An- und Umströmung  
des Ventilators [22]

Da Ventilatoren infolge ihrer bewegten Teile, insbesondere bei zu leichten Gerätekonstruktionen, Vibrationen erzeugen, ist auf eine vibrationsfreie, Körperschall entkoppelte und ausreichend steife Lagerung zu achten. Auch das 50 Hz-Brummen des Elektromotors, das sich auf die Ventilatorschaufeln übertragen kann, muss minimiert werden. Dasselbe gilt natürlich für Unwuchten.

Da die Dämpfung stark vom Frequenzspektrum des Lärms abhängt, muss jeder Schalldämpfer der Situation angepasst werden. Es kann aber auch sinnvoll sein, das Geräusch dem Schalldämpfer anzupassen, was z. B. bei Ventilatoren möglich wäre.

### 14.1.7 Luftkanalgestaltung

Bei den Luftkanälen helfen z. B. eckige Kanalumlenkungen, mit denen bereits gute Schallpegelminderungen erzielt werden können. Die ungehinderte Durchstrahlung des Luftkanals in Längsrichtung wird unterbunden. Absorbierende Auskleidungen und eine günstige Luftkanalgestaltung reduzieren den Lärm weiter.

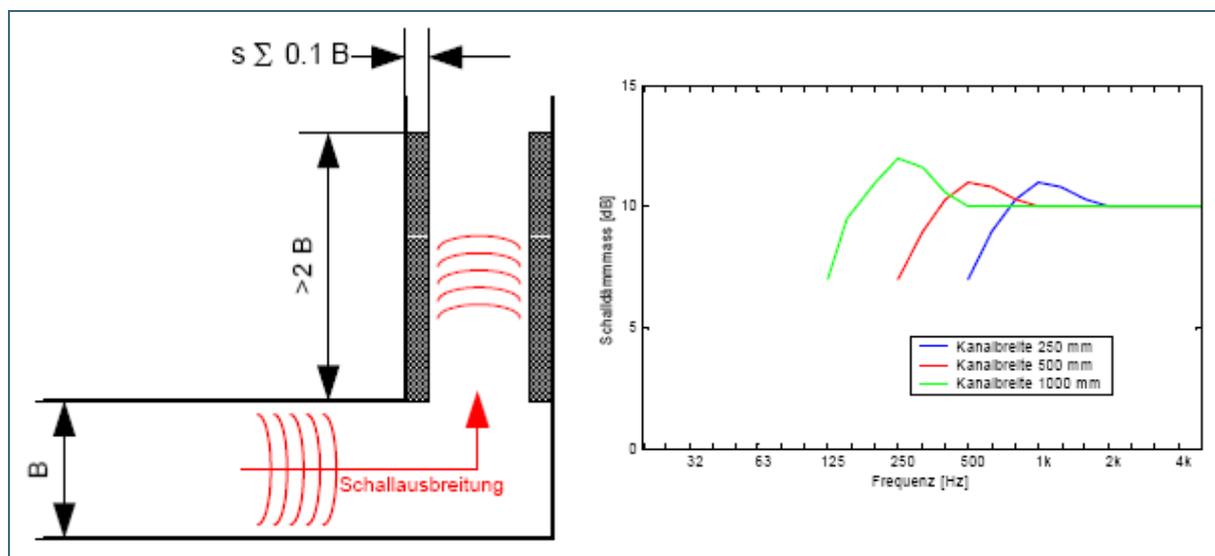


Abb. 41: Eckige Kanalumlenkungen [24]

Wie das Diagramm rechts zeigt, nimmt das Schalldämmmaß bei niedrigen Frequenzen stark ab, so dass diese leider nur schwach gedämpft werden.

Auch der Luftkanal muss optimiert werden. Kritische Stellen in den Luftkanälen sind Kanalkrümmen, Querschnittsprünge, Lüftungsgitter und sonstige Strömungshindernisse. Im Kanal muss eine wirbelarme Strömung vorherrschen. Eine Verdoppelung oder Halbierung der Strömungsgeschwindigkeit durch Einflüsse, die einer Drossel- oder Drallklappe entsprechen, kann zum Beispiel einer entsprechenden Veränderung des Lärmpegels um 5 dB(A) bedeuten [16], an Kanalcomponenten, wie dem Wetterschutzgitter können auch Differenzen von mehr als 20 dB(A) auftreten. Diese Einflüsse sind stark gestaltungsabhängig. In [17] werden Geschwindigkeiten von ca. 4 m/sec an diesen Bauteilen empfohlen. Hierfür sind größere Kanalquerschnitte erforderlich.

### 14.1.8 Luftkanaleinbauten und -auskleidungen

Die Ausbreitungsfähigkeit von Schallwellen (sogenannte Grundmoden und Oberwellen), und damit die akustischen Eigenschaften der Gesamtanlage, können mit Einbauten in die Luftkanäle beeinflusst werden. Die Kanäle wirken dann ähnlich wie Schalldämpfer und behindern die Schallweiterleitung. Abb. 42 zeigt solche Einbauten.

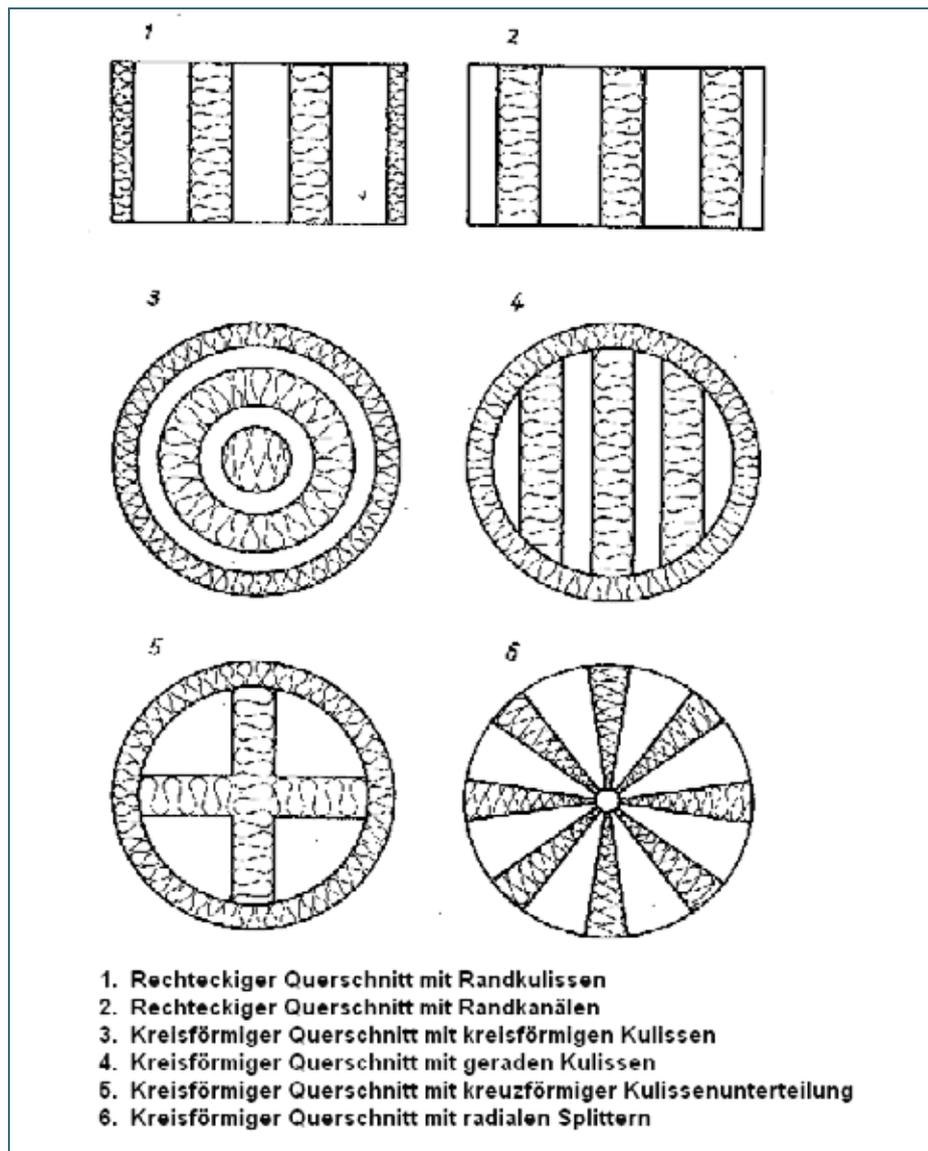


Abb. 42:  
Möglichkeiten zur Unterteilung des Kanalquerschnitts [16]

Die Einbauten erhöhen die Kanallängsdämpfung. Es muss aber auf den Druckverlust, durch den erhöhten Strömungswiderstand geachtet werden. Die Schalldämmung der Kanalwände muss mindestens ebenso groß sein wie die Schalldämpfung des Kanals.

### 14.1.9 Schalldämpfer

Als weitere Lärmschutzmaßnahmen kommen Schalldämpfer in den Zu- und Abluftöffnungen in Frage. Der austretende Schall wird dadurch wesentlich verringert. Es gibt verschiedene Versionen von Schalldämpfern, z. B. Kulissenschalldämpfer oder zylindrische Absorptionsschalldämpfer. Ein weiterer Typ ist der Relaxationsschalldämpfer. Die akustische Wirkung entsteht meist durch eine Kombination aus Absorption und Reflexion in den Dämpfergehäusen. Es sind also entsprechende Einbauten vorzusehen.

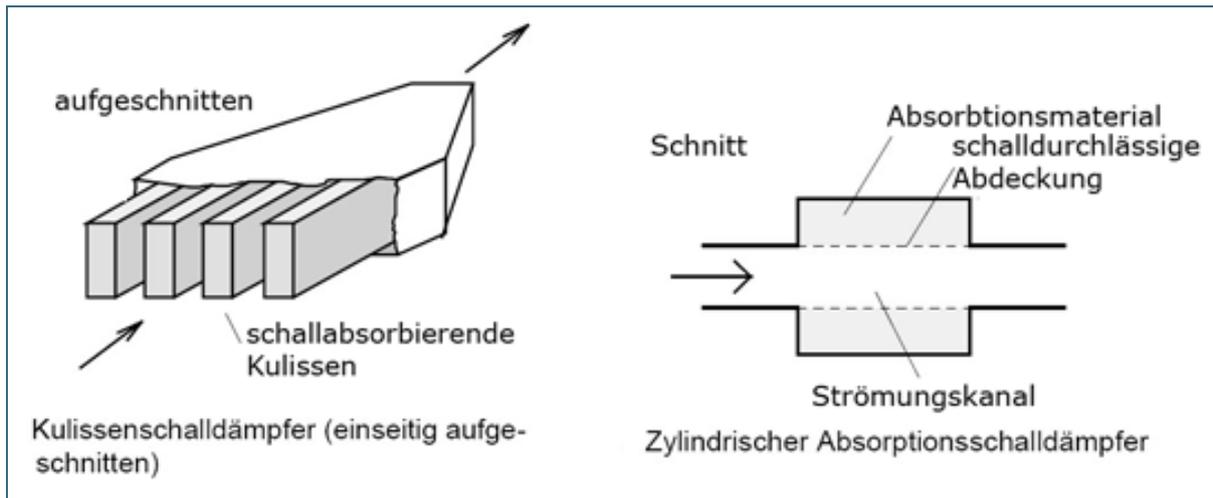


Abb. 43: Kulissen- und Absorptionsschalldämpfer [15]

Bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten entstehen im Schalldämpfer selbst wieder Geräusche. Unter 10 m/s braucht nach [16] das Strömungsgeräusch bei der Schalldämpferbemessung aber i. d. R. nicht berücksichtigt werden.

#### 14.1.10 Resonatorschalldämpfer

Für tiefe Frequenzen eignen sich bei genügend großen Luftschächten Resonatorschalldämpfer, die auf das tieffrequente Brummen des Kompressors oder den Ventilatorklang abgestimmt sind. Bei der festgelegten Frequenz wird er zum Schwingen angeregt und dämpft mit einer Art Masse-Feder-System die Schwingungen. Die Wechselwirkung zwischen einem Hohlraum und einer bewegten Luftmasse ist hierbei ausschlaggebend.

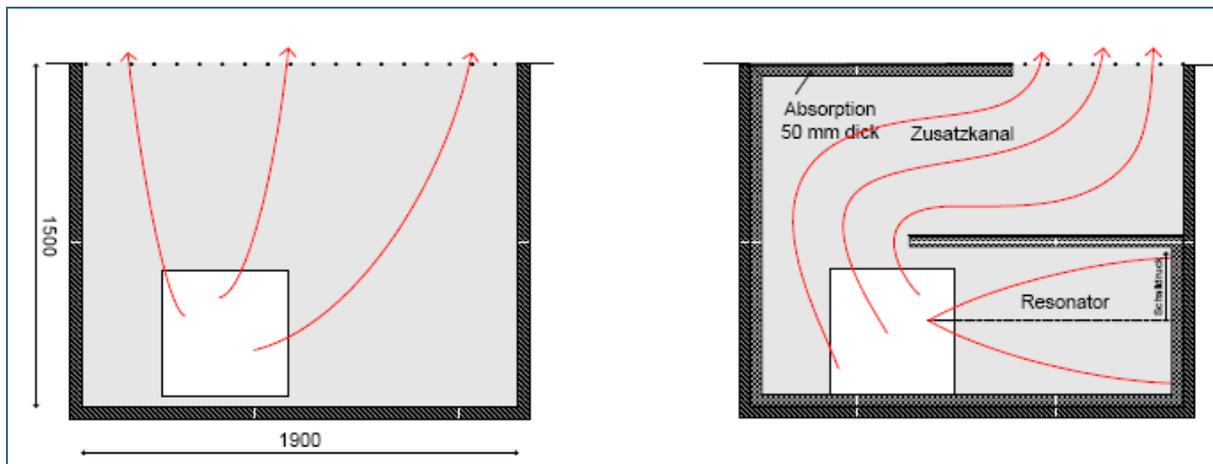


Abb. 44: Absorptionsresonator [17]

Die auftreffende Schallenergie wird in kinetische Energie umgewandelt. Die maximale Minderung tritt im Bereich der Eigenfrequenz auf, bei der die umgebende Masse am stärksten schwingt. Hierfür können sowohl Platten, z. B. aus Sperrholz, Gipskarton, Pressspan, Kunstleder, Folie, etc. (Plattenschwinger) zum Einsatz kommen, als auch die im Loch schwingende Luft bei gelochten Platten (Lochplattenschwinger und Helmholtz-Resonatoren). Mit einer schallabsorbierenden Auskleidung werden zusätzlich auch höhere Frequenzen gedämpft.

Da Luftwärmepumpen lastabhängig meist in verschiedenen Betriebsstufen laufen und beim Hochfahren die Lärmmaxima bei unterschiedlichen Frequenzen liegen, ist eine Abstimmung schwierig oder sogar unmöglich. Es kann auch der Effekt auftreten, dass einzelne Frequenzbänder durch Reflexionen verstärkt werden.

#### 14.1.11 Lichtschächte

Als (Resonanz-) Schalldämpfer können auch die Lichtschächte dienen. Der Schacht wirkt durch die Verlängerung nach unten, wie ein Resonator, der allerdings nur sehr schmalbandig wirkt. Nach [17] ist es auch möglich unten am Schachtende einen (Helmholtz-) Resonator einzubauen (rechte Darstellung).

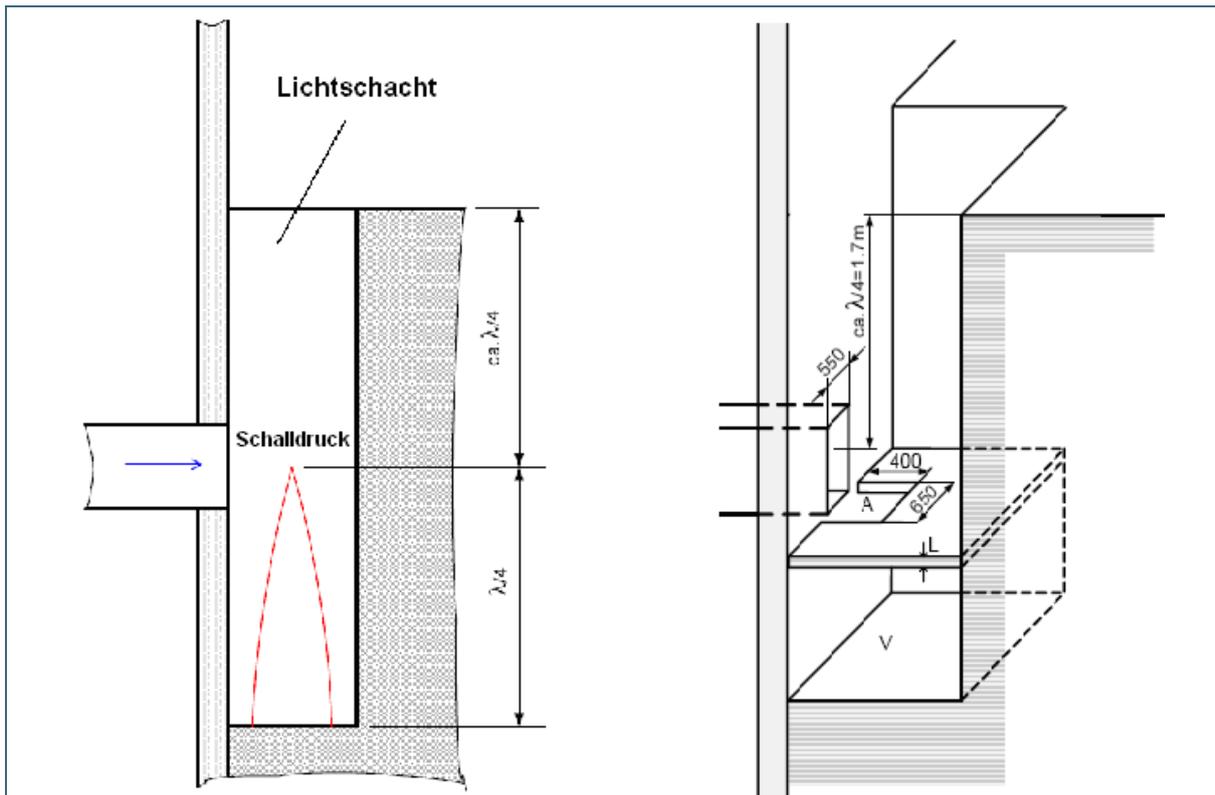


Abb. 45: Lichtschächte mit Resonatoren und absorbierender Auskleidung für die Dämpfung [17]

Der Schacht kann durch Sand oder Kiesfüllung aufgefüllt und abgestimmt werden, wenn er etwas tiefer ausgeführt wird und darüber hinaus absorbierend verkleidet, um Resonanzen zu verhindern. Die Abmessungen werden allerdings für niedrige zu dämpfende Frequenzen relativ groß. Beim linken Schacht beträgt die erforderliche Länge eine halbe Wellenlänge, zum Beispiel für 100 Hz:

$$\lambda/2 = c / (2 * f) = 340 \text{ m/sec} / (2 * 100 \text{ Hertz}) = 1,7 \text{ Meter}$$

Das bedeutet 85 cm nach unten und 85 cm nach oben, bei mittigem Luftkanalzutritt. Der (Helmholtz-) Resonator am Schachtboden muss wie folgt berechnet werden:

Die wirksame Länge  $L'$  der Öffnung (mit der Fläche  $A$ ) des Resonators beträgt

$$L' \cong L + 8,0 \sqrt{A}$$

Das benötigte Volumen

$$V = \frac{A}{L'} * \left( \frac{c}{2\pi * f} \right)^2 \quad [17]$$

In Tabelle 9 ist das erforderliche Resonatorvolumen dargestellt [17].

Frequenz	Erforderliches Resonatorvolumen (bei einer Öffnung von 650 x 400 mm)
50 Hz	0,69 m <sup>3</sup>
63 Hz	0,44 m <sup>3</sup>
80 Hz	0,27 m <sup>3</sup>
100 Hz	0,17 m <sup>3</sup>

Tab. 9:  
Erforderliches Resonatorvolumen [17]

Wie bereits erwähnt, ist die Abstimmung schwierig, weil die Luftwärmepumpen ihre Maxima, je nach Stufe in der sie laufen, bei anderen Frequenzen aufweisen.

H. E. sollten zunächst einfachere Ausführungen geprüft werden, z. B. eine dickere Schotteraufschüttung am Boden (ähnlich Gleisschotter bei der Eisenbahn), absorbierende Schachtwände und einfache absorbierende Einbauten, die die direkte Durchstrahlung des Zu- oder Abluft-Lichtschachtes mit Schall unterbinden, wobei Strömungsgeräusche an den Einbauten vermieden werden müssen. Dazu muss der Schachtquerschnitt genügend groß sein, damit die Strömungsgeschwindigkeit an den Einbauten nicht zu hoch wird. Auch Schalldämmkulissen kommen in Frage.

## 14.2 Innenlärm und Körperschall

### 14.2.1 Aufstellung und elastische Lagerung

Bei der Aufstellung von Wärmepumpen in Gebäuden entsteht sowohl Körper- als auch Luftschall, der eventuell über die Fenster, die Luftschächte und die Rohrleitungen nach außen oder über Wände und Boden in benachbarte Räume oder Häuser dringen kann. Der Schwerpunkt liegt meist beim Körperschall. Um diesen Lärm zu vermindern, müssen die Geräteteile durch entsprechende Lagerung schwingungstechnisch entkoppelt werden. Die Gebäudefundamentplatte (Kellerboden) ist für die Lagerung wesentlich günstiger als eine Geschossdecke, da diese leichter zum Schwingen angeregt werden kann. Die unmittelbare Nähe von Büro-, Wohn- und Schlafräumen ist zu vermeiden.

Die wichtigste Maßnahme gegen Körperschall ist die elastische Lagerung. Dazu wird die Wärmepumpe auf eine Platte mit Gummifüßen gestellt. Um eine optimale Minderung zu erzielen, müssen sowohl Platte, als auch Füße schwingungstechnisch richtig dimensioniert werden. Wechselwirkungen mit schwimmenden Estrichen dürfen nicht zu einer Erhöhung aufgrund von Resonanzen führen. Eine Entkopplung kann z. B. durch eine umlaufende Nut im Estrich unter der Wärmepumpe erfolgen.

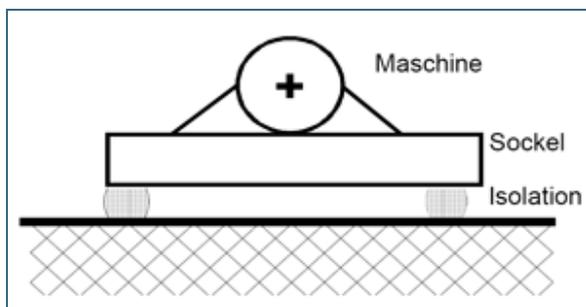


Abb. 46:  
Schallisierende Lagerung [15]

### 14.2.2 Installation, Rohrleitungen und Luftkanallagerung

Bei Verschraubungen ist darauf zu achten, dass keine Schallbrücken durch Schrauben entstehen. Auch wenn die Wärmepumpe elastisch gelagert ist, kann Körperschall immer noch durch die abgehenden Leitungen übertragen werden. Um das zu verhindern, lassen sich zur Entkopplung so genannte Kompensatoren in die Leitungen einsetzen. Das sind flexible Schläuche, die um 90° bis 360° Grad gebogen sind. Die Leitungen sollten elastisch gelagert oder aufgehängt werden.

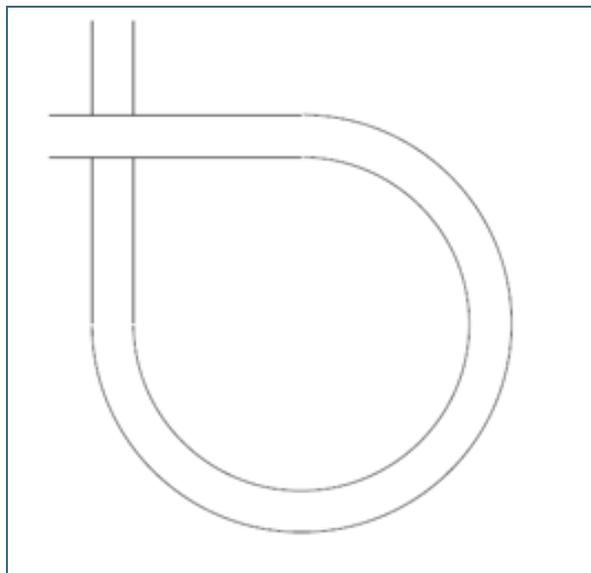


Abb. 47:  
Kompensator:  
Schlauchleitung um  
270° gebogen [15]

Durchführungen durch Gehäuse müssen schalldicht sein. Die richtige Installation ist dabei unumgänglich, denn die elastische Lagerung kann – zum Beispiel durch zu fest angezogene Schrauben – wirkungslos gemacht werden. Es empfiehlt sich daher, die Installation durch einen Fachmann ausführen zu lassen.

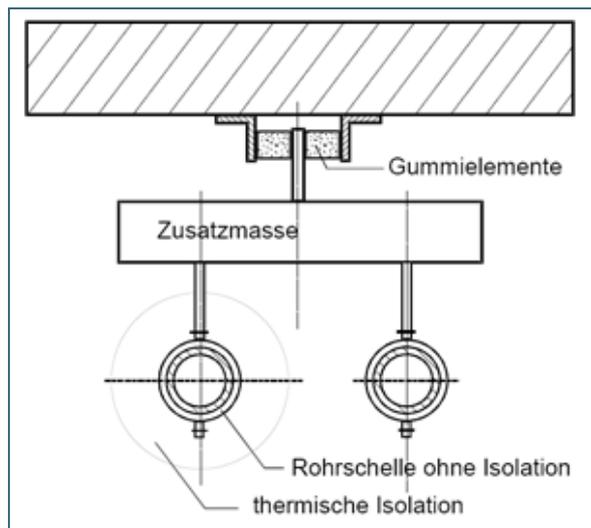


Abb. 48:  
Körperschalldämmung bei  
der Installation von vibrie-  
renden Rohren [15]

### 14.2.3 Einhausung und Kapselung

Der von den Betriebsaggregaten der Wärmepumpe abgegebene Luftschall kann sowohl bei der Aufstellung im Gebäudeinneren, als auch bei einer Außenaufstellung durch vollständige und fugendichte Einhausung bzw. Kapselung [20] gemindert werden. Die Zu- und Abluftöffnungen sind mit ausreichend dimensionierten Schalldämpfern auszurüsten.

In Kapseln trifft der von der Schallquelle ausgehende Luftschall auf die Kapselinnenwand und wird von dort je nach Größe des Schallabsorptionsgrades mehr oder weniger reflektiert. Dadurch erhöht sich eigentlich der Pegel, somit ist eine schallabsorbierende Auskleidung der Kapsel von großer Bedeutung. Abgehende Rohre und sonstige Durchführungen müssen schalldicht abgeschlossen werden, sonst erfolgt eine Luftschallübertragung durch diese Undichtigkeiten. Die Körperschallübertragung begrenzt in der Regel die erreichbare Minderung. Die akustischen Eigenschaften kennzeichnen das Einfügungsdämm-Maß - die Differenz des mit und ohne Kapsel gemessenen Schallpegels einer Schallquelle.

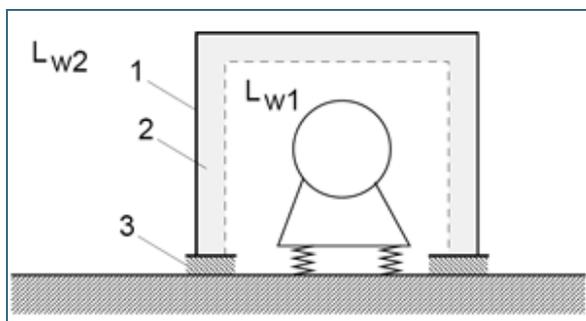


Abb. 49:  
Kapsel (1 = Kapselwand,  
2 = schallabsorbierende Innenverkleidung, 3 = körperschalldämmende, dichte Auflage) [15]

### 14.2.4 Entdröhnung von Blechen

Bei Luftwärmepumpen ist insbesondere auch den Luftkanälen genügend Beachtung zu schenken. Da diese einiges größer sind als die anderen Leitungen, lassen sie sich leichter in Schwingung versetzen. Wenn dies zu Problemen führt, sollten die Luftkanalbleche entkoppelt von den Körperschallquellen montiert werden. Vibrierende Bleche muss man zur Ruhe bringen, sie sollten entdröhnt werden.



Abb. 50:  
Entdröhnung von Blechen [17]

## 15 Schallschutzmaßnahmen

Im Folgenden sind Schallschutzmaßnahmen für Luftwärmepumpen aufgelistet, die je nach Situation zu verwirklichen sind:

- **Schallleistungspegel  $L_{WA} \leq 50 \text{ dB(A)}$**
- **ausreichende Abstände zu betroffenen Immissionsorten gemäß TA Lärm**
- **abgeschirmte Aufstellung der Luftwärmepumpe**
- **Vermeidung von Reflexionen und Mehrfachreflexionen**
- **Kapselung von Aggregaten**

- **langsam laufende Ventilatoren**
- **Entdröhnung der Luftkanäle**
- **strömungsgünstige Wetterschutzgitter**
- **geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den Luftkanälen (größere Luftkanalquerschnitte)**
- **Luftkanalumlenkungen**
- **absorbierende Verkleidungen in Luftkanälen und Lichtschächten**
- **luftwirbelreduzierende Luftkanalgestaltung (laminare Strömung)**
- **Schalldämpfer (Kulissen-, Absorptions-, Resonatorschalldämpfer) in Luftkanälen**
- **Schallschirme, Vorsatzschalen vor Luftöffnungen**
- **Lichtschachteinbauten (Zuluft- und Abluftschächte)**
- **körperschallisolierte Geräteaufstellung einschließlich der Befestigung von Rohren und Blechen**
- **Kompensator-Schlauchleitungen**

## 16 Zusammenfassung

Die Mehrzahl der Luftwärmepumpen, insbesondere Kompaktgeräte, ist heute zu laut und für die Aufstellung in der Nähe von Wohnhäusern nicht geeignet. Es gibt aber bereits Geräte, die niedrige immissionswirksame Schalleistungspegel von etwa 50 dB(A) emittieren. Schon beim Kauf einer Luftwärmepumpe sollte auf tieffrequente Emissionen und auf einen möglichst niedrigen Schalleistungspegel geachtet werden.

Lärmarm sind vor allem Luftwärmepumpen mit langsam laufenden Ventilatoren. Auch größere, günstig gestaltete Luftkanäle, die die Strömungsgeräusche vermindern, können die Lärmemissionen wirksam reduzieren. Häufig sind der Einbau von Schalldämpfern in die Luftkanäle oder Schalldämpfereinsätze erforderlich.

Bereits bei der Planung und Errichtung sollte darauf geachtet werden, dass die Anlage möglichst auf der zu den Immissionsorten abgewandten Gebäudeseite aufgestellt wird.

Um die Innenpegel zu mindern, sind die Aggregate zu kapseln und schwingungsisoliert aufzustellen. Dies reduziert auch den im Luftstrom nach außen abgestrahlten Lärm. Günstige Verschraubungen, Gummipufferlagerungen, gebogene Schlauchleitungen und entdröhnte Bleche sind weitere mögliche Maßnahmen.

Die vorgenannten Maßnahmen können dazu beitragen, dass der Einsatz von alternativen Energiequellen nicht auf Kosten der Nachbarschaft geht.

## 17 Literatur

- [1] „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge“; (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG), vom 15. März 1974 i. d. F. d. Bek. v. 26.09 2002, (BGBl. I S. 3830)
- [2] 6. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26.08.1998, GMBI. 1998, S. 503
- [3] DIN 45680, 03/1997, „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Nachbarschaft“, mit Beiblatt 1
- [4] DIN ISO 9613-2, 10/1999, „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren“
- [5] DIN 45 641, 06/1990, „Mittelung von Schallpegeln“
- [6] DIN EN 61260 [6], 03/2003, „Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven“
- [7] DIN ISO 226, 04 2006, „Normalkurven gleicher Lautstärkepegel“
- [8] Biogashandbuch Bayern;  
<http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>
- [9] „Physik und Technik der Lärmbekämpfung“, Kurtze, Schmidt, Westphal, 2. Auflage, Verlag G. Braun Karlsruhe
- [10] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Internet-Angebot
- [11] Johannes Reichelt (Hrsg.): Wärmepumpen - Stand der Technik, C. F. Müller-Verlag, 2008
- [12] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Leitfaden für effiziente Energienutzung, November 2009
- [13] Wärmepumpen-Testzentrum Töss (Schweiz): (Internetbeitrag); (Selidat-Nr. 6128, Bayerisches Landesamt für Umwelt)
- [14] 10. Tagung des BFE-Forschungsprogramms Umgebungswärme: Wärmepumpen - noch effizienter und leiser; S. 33ff: Leisere Luft-Wasser-Wärmepumpen, Hans Rudolf Graf, Fa. Sulzer Innotec (Schweiz), (Internetbeitrag); (Selidat- Nr. 6142, Bayerisches Landesamt für Umwelt)
- [15] Kanton-Zürich: Fachstelle Lärm (<http://www.laerm.zh.de>), ERFA-Seminar 25. Februar 2002, Zur lärmarmen Konstruktion von Wärmepumpenanlagen, K. Baschnagel, EMPA Dübendorf
- [16] Werner Schirmer (Hrsg.), Lärmbekämpfung, Verlag Tribüne Berlin 1989
- [17] Lärmreduktion bei Luft/Wasser-Wärmepumpen, Grundlagen und Maßnahmen (Schlussbericht, November 2002), Hans Rudolf Graf, Fa. Sulzer Innotec (Schweiz), Im Auftrag des Bundesamtes für Energie der Schweiz
- [18] Musterantwort bei Bürgeranfragen des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie mit Stand vom 20.05.2010
- [19] VDI 2720, Blatt. 3 (Entwurf) „Schallschutz durch Abschirmung im Nahfeld“
- [20] VDI 2711, „Schallschutz durch Kapselung“ (gültig für einen offenen Anteil im Gehäuse von weniger als 10 %)
- [21] „Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung - 32. BImSchV“, vom 29. August 2002

[22] Fa. Wolter GmbH Maschinen- und Apparatebau, 76316 Malsch

[23] Taschenbuch der technischen Akustik, Hrsg. Gerhard Müller, Michael Möser; 3. erweiterte und überarbeitete Auflage; Springer Verlag, 2004

[24] Strömungsakustik in Theorie und Praxis; Dipl.-Ing. HTL Walter Lips; expert verlag, 1995

## 18 Abbildungen

Abb. 30: Funktionsprinzip der Wärmepumpe [12]	35
Abb. 31: Aufbau einer Luftwärmepumpe und Schallübertragungspfade [14]	36
Abb. 32: Wärmepumpe (Schalleistungspegel laut Datenblatt 62 dB(A))	37
Abb. 33: Stand der Technik bei Luftwärmepumpen	38
Abb. 34: Typisches Frequenzspektrum einer Luftwärmepumpe [14]	38
Abb. 35: Gleichzeitige Innen- und Außenmessung aufgeteilt nach Terzen an einer Luftwärmepumpe	40
Abb. 36: Terzanalyse einer Raum- Innenmessung nach DIN 45680 wegen einer Luftwärmepumpe mit tonhaltigen Frequenzverlauf bei tiefen Frequenzen und Überschreitungen	41
Abb. 37: Rasterberechnung mit Immissionspunkten an zwei Gebäuden (Schallstrahlen grau)	43
Abb. 38: Einfache Vorsatzschale vor einer Öffnung	44
Abb. 39: Absorptionsgrad in Abhängigkeit von der Materialstärke	45
Abb. 40: An- und Umströmung des Ventilators [22]	46
Abb. 41: Eckige Kanalumlenkungen [24]	47
Abb. 42: Möglichkeiten zur Unterteilung des Kanalquerschnitts [16]	48
Abb. 43: Kulissen- und Absorptionsschalldämpfer [15]	49
Abb. 44: Absorptionsresonator [17]	49
Abb. 45: Lichtschächte mit Resonatoren und absorbierender Auskleidung für die Dämpfung [17]	50
Abb. 46: Schallisolierende Lagerung [15]	51
Abb. 47: Kompensator: Schlauchleitung um 270° gebogen [15]	52
Abb. 48: Körperschalldämmung bei der Installation von vibrierenden Rohren [15]	52
Abb. 49: Kapsel (1 = Kapselwand, 2 = schallabsorbierende Innenverkleidung, 3 = körperschalldämmende, dichte Auflage) [15]	53
Abb. 50: Entdröhnung von Blechen [17]	53

