

CCI*BUCH

VDE
VERLAG

Martin Renner

Akustik in der Lüftungs- und Klimatechnik

Leseprobe

Kälte • Klima • Lüftung | KOMPAKT

Renner, Dr. Martin

Akustik in der Lüftungs- und Klimatechnik

1. Auflage 2017, ca. 120 Seiten,
Erscheint voraussichtlich
im 1. Quartal 2017

Vorwort / Einleitung

Das Fachgebiet der Akustik ist sicherlich ein wesentlicher wie auch ein sehr interessanter und spannender Bereich der technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Doch (leider) sind für viele in der TGA-Planung und insbesondere auch der Auslegung von raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) tätigen Ingenieure Fragestellungen der Akustik ein Randbereich. Es ist meist immer noch so, dass z. B. Fragen bezüglich der thermischen und hygienischen Behaglichkeit im Rahmen der Planung sehr ausführlich besprochen werden, hingegen die akustische Behaglichkeit meist nur – wenn überhaupt - am Rande angesprochen wird. Im Gegensatz dazu zeigt die Erfahrung mit neu installierten Anlagen, dass neben Fragen der thermischen Behaglichkeit (z.B. Zugerscheinungen) insbesondere auch Fragen im Zusammenhang mit der Akustik auftauchen und diese letztlich zu Reklamationen führen.

Der Begriff Akustik stammt aus der griechischen Sprache (*ἀκούειν akoyein* ‚hören‘) und bedeutet die Lehre vom Schall und seiner Ausbreitung. Er umfasst die Schwingungen in gasförmigen, flüssigen und festen Medien. Der Fachbereich der Akustik ist ein interdisziplinäres Fachgebiet. Für die Beschreibung der Geräuschsituation bei RLT-Anlagen ist zunächst die Bewegung der Luft wesentlich, d.h. die Strömung der Luft über den Ansaugbereich, in den Kanälen bis hin zum Luftauslass und der sich ergebenden Situation im Raum. Ein wichtiges Element hierbei ist natürlich der Ventilator, da er den Volumenstrom fördert und die für die Überwindung der Druckverluste notwendige Druckerhöhung realisiert. Hinsichtlich der Geräuschsituation spricht man hier von der Strömungsakustik. Neben der Strömungsakustik ist für die Geräuschsituation innerhalb des klimatisierten Gebäudes auch die Bau- und Raumakustik wesentlich. Während sich die Raumakustik mit den Fragestellungen im Raum selbst beschäftigt (z.B. Hörsamkeit in Schulungsräumen), wird in der Bauakustik die Schallausbreitung im Gebäude, d.h. zwischen den Räumen untersucht. Unsere technischen Beschreibungen der Geräuschsituation sind sicherlich wichtig, aber letztlich entscheidend ist die Psychoakustik, denn damit wird die menschliche Empfindung des Schalls als Hörereignis beschrieben. Die Vorgabe für die akustische Auslegung könnte daher auch sehr kurz gefasst werden: keine störenden Geräusche.

Das Gebiet der Akustik im Zusammenhang mit RLT-Anlagen ist somit sehr umfassend und in vielen Bereichen ist detailliertes Wissen erforderlich. Trotzdem kann bei vielen Fragestellungen mit ein paar wesentlichen Grundlagen eine erste Abschätzung getroffen werden. **Dieses Buch soll Ingenieuren der TGA dabei helfen, die Themen der Akustik im Zusammenhang mit RLT-Anlagen entsprechend einzuordnen.** Sie sollen anhand der Darstellungen das notwendige Wissen bekommen, welche Fragestellungen bzw. Vorgaben mit einfachen Ansätzen sowie standardmäßigen Anlagenkomponenten gelöst werden können. Sie sollen

aber auch erkennen, wann die Grenzen hierfür erreicht sind und es sinnvoll ist, einen speziell geschulten Akustiker hinzuzuziehen.

Um die möglichen Anforderungen im Zusammenhang mit der Akustik beschreiben zu können, werden in den folgenden Kapiteln zunächst die Grundlagen und Definitionen der Begriffe erläutert. Im Anschluss hieran werden gesetzliche Vorgaben und die Messtechnik zusammengefasst. Mit Hilfe dieses Wissens werden dann die Fragestellungen hinsichtlich der Geräuschsituation in Verbindung mit einer RLT-Anlage erläutert.

Inhaltsangabe

1. Grundlagen

- 1.1 Schall / Schallübertragung
- 1.2 Schallfeldgrößen
- 1.3 Rechnen mit logarithmischen Größen
- 1.4 Frequenzanalyse
- 1.5 Geräuschausbreitung

2. Messtechnik

- 2.1 Messverfahren
- 2.2 Messablauf
- 2.3 Allgemeine Hinweise für Messungen

3. Grenzwerte / gesetzliche Vorgaben

- 3.1 Beurteilungspegel L_r
- 3.2 Grenzwerte außerhalb des Gebäudes
- 3.3 Grenzwerte innerhalb des Gebäudes
- 3.4 Vorgaben Planung

4. RLT-Anlage – Geräusentstehung / Geräusminderung (VDI 2081, Beispiele)

- 4.1 Komponenten der RLT-Anlage / Geräuscherzeugung
- 4.2 Komponenten der RLT-Anlage / Geräusdämpfung
- 4.3 Ventilator – Schwingungsisolation
- 4.4 Geräuschübertragung Kanalstrecke

5. Schalldämpfung / Schalldämmung

- 5.1 Schalldämpfer
 - 5.1.1 Messung und Beschreibung der Leistungsdaten eines Schalldämpfers
 - 5.1.2 Absorptionsschalldämpfer
- 5.2 Körperschalldämmung

6. Raum- und Bauakustik

7. Beispiele

Beispiele in den anderen Kapiteln

Auszug aus Kapitel: 3. Grenzwerte / gesetzliche Vorgaben

3.3 Grenzwerte innerhalb des Gebäudes

Hinsichtlich der Grenzwerte ist die Situation innerhalb des Gebäudes (Innenräume) nicht immer so eindeutig geregelt, wie dies im Außenbereich der Fall ist. Bei der Betrachtung von RLT-Anlagen gelten zunächst die Anforderungen entsprechend der Richtlinie VDI 2081 Bl. 1 (07.2001, national) [3-8]. Die Normen DIN EN 13779 (09.2007) [3-9] wie auch DIN EN 15251 (12.2012) [3-10] beinhalten ebenfalls Vorgaben bzgl. Akustik (europäisch). Ferner gelten in Büroräumen die Arbeitsstättenrichtlinie bzw. die Richtlinie VDI 2058 Blatt 3 (08.2014) [3-11]. Ganz allgemein gilt in schutzbedürftigen Räumen in Hochbauten die Norm DIN 4109 Teil 1 [1].

Für Räume ohne Vorgaben bzw. Anforderungen sind die zulässigen Schallpegel selbst, d.h. durch Bauherr oder Planer festzulegen. Sofern hier die RLT-Anlage die wesentliche Geräuschquelle ist, kann z.B. entsprechend der sehr allgemeinen Formulierung in der DIN 1946-2 (01.1994) [3-12] (zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 13779) vorgegangen werden: *„Der Anlagen-Schallpegel ist unter Berücksichtigung der von außen einwirkenden Geräusche so niedrig zu halten, wie es nach Art der Raumnutzung erforderlich und nach dem Stand der Technik möglich ist.“*

Die Vorgaben bzgl. Grenzwerte in Wohnräumen (unabhängig von der Lage) sind entsprechend der TA Lärm (Abschnitt 6.2 und 6.4 [3-1]):

tags (6 bis 22 Uhr): 35 dB(A) bzw. nachts (22 bis 6 Uhr) : 25 dB(A).

Der zulässige Beurteilungspegel nach Arbeitsstättenverordnung bzw. VDI 2058 Blatt 3 (08.2014) [3-11] ist in Tabelle 3-2 aufgezeigt.

Betätigungsräume	Beurteilungspegel L_r^1 [dB(A)]
für überwiegend geistige Tätigkeiten	55
für einfache oder überwiegend mechanisierte Tätigkeiten	70
für alle sonstigen Tätigkeiten	85 ²
in Pausen-, Bereitschafts-, Liege- und Sanitätsräume ³	55

¹ gültiger Beurteilungspegel-Höchstwert einschließlich der von außen einwirkenden Geräusche bei einem Arbeitstag von 8 Stunden

² sofern dieser Beurteilungspegel nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarerweise nicht eingehalten werden kann, darf er bis zu 5 dB(A) überschritten werden

³ bei der Festsetzung des Beurteilungspegels sind nur die Geräusche der Betriebseinrichtungen in den Räumen selbst und die von außen auf die Räume einwirkenden Geräusche zu berücksichtigen

Tabelle 3-2: Zulässige Beurteilungspegel an Arbeitsplätzen [3-11]

Die Tabelle 3-3 zeigt die A-bewerteten Auslegungsschalldruckpegel nach der Norm DIN EN 13779 (09.2007) auf.

Gebäude- und Raumart	A-bewerteter Auslegungsschalldruckpegel [dB(A)]
Büros und andere	
- Einzelbüro	30 – 40
- Großraumbüro	35 – 45
- Konferenzraum	30 – 40
- Auditorium	20 – 35
- Klassenraum, Kindergarten	35 – 45
- Verkaufsräume	40 - 50

Tabelle 3-3 Vorgabewerte DIN EN 13779 [3-9]

Hinsichtlich der Geräuschsituation in Großraumbüros macht die Norm (DIN EN 13779) die Anmerkung, dass die Geräusche andere Geräusche (z.B. Telefonate, Gespräche) überlagern bzw. verdecken sollen (Verdeckungseffekt). Die Auslegungsschalldruckpegel sollten daher nicht weiter reduziert werden.

Richtwerte für zulässige Geräusche aus raumluftechnischen Anlagen entsprechend der Richtlinie VDI 2081 Bl. 1 (07.2001) [3-8] sind in Tabelle 3-4 aufgelistet. Die in Klammern angegebenen Werte gelten bei entsprechend höheren Anforderungen. Entsprechend der Norm DIN 4109 gibt es schutzbedürftige Räume [3-2]. Diese sind Aufenthaltsräume, in denen aufgrund der Nutzung nicht oder zumindest nicht ständig starke Geräusche erzeugt werden. Der Schutz gilt also gegenüber Schalleinwirkungen aus Nachbarräumen. Schutzbedürftige Räume im Sinne der Norm DIN 4109 sind entsprechend gekennzeichnet.

Gebäude- und Raumart	A-bewerteter maximaler Schalldruckpegel $L_{pA \text{ max}}$ [dB(A)]	Mittlere Nachhallzeit [s]
Wohnung, Hotel		
- Schlafräum, Hotelzimmer ¹ nachts	30	0,5
- Wohnraum ¹ tags	35	0,5

Krankenhaus		
- Bettzimmer ¹	nachts	30
	Tags	35 (30)
- Operations- und Untersuchungsraum, Halle, Korridor		40
Auditorien und Studios		15
- Rundfunkstudio		25
- Fernsehstudio, Konzertsaal, Oper		30 (25)
- Theater, Kino		35 (30)
Lese- und Unterrichtsräume		
- Lesesaal		35 (30)
- Seminarraum, Klassenzimmer, Hörsaal		40 (35)
Büros und andere		
- Konferenzraum		40 (35)
- Ruheraum, Pausenraum, ¹		35 (30)
- Kleiner Büroraum, Einzelbüro ¹		40 (35)
- Großraumbüro		50 (45)
- Kirche		35
- Museum		40 (35)
- Schalterhalle, EDV-Raum, Turnhalle		45 (40)
- Sporthalle, Schwimmbad		50 (45)
- Gaststätte		55* (40)
- Küchen, Verkaufsräume		45 bis 60*

¹ schutzbedürftige Räume nach DIN4109

* je nach Nutzungsart

Tabelle 3-4: Richtwerte für zulässige Geräusche aus raumluftechnischen Anlagen entsprechend der Richtlinie VDI 2081 Bl. 1 [3-8]

In der Tabelle ist auch die empfohlene Länge der Nachhallzeit angegeben. Die Nachhallzeit ist eine wesentliche Größe zur Beschreibung der raumakustischen Eigenschaften (siehe Kap. 6).

Für die Erfassung der Geräusche ‚Innen‘, d.h. den Messort, gibt die TA Lärm zunächst die Höhe über Fußboden an: 1,2 m. Genauere Vorgaben bei Messungen innerhalb der Gebäude liefert dann z.B. die Norm DIN 45645-1 (07.1996) [3-3]: es ist in dem am stärksten betroffene schutzbedürftige Raum bei üblicher Raumausstattung, bei geschlossenen Fenstern und Türen und an bevorzugten Aufenthaltsorten der Menschen zu messen.

Die bisher angegebenen Grenz- und Richtwerte sind Summenpegel, d.h. Einzahlangaben. Bei den Beurteilungspegeln ist über Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit die Charakteristik des Geräusches zwar berücksichtigt, aber letztlich ist es trotzdem schwierig, das Geräusch umfassend zu beschreiben. ...

Auszug aus Kapitel: 4. RLT-Anlage – Geräusentstehung / Geräuschminderung (VDI 2081, Beispiele)

4.2 Geräuschminderung bzw. Dämpfung in den einzelnen Komponenten der RLT-Anlage

Nachdem im Kapitel 4.1 die Geräuscherzeugung in den verschiedenen durchströmten Komponenten und dem Ventilator aufgezeigt wurde, wird in den nächsten Abschnitten die Geräuschminderung in den einzelnen Komponenten der RLT-Anlage erläutert.

4.2.1 Ventilator

Hinsichtlich der Geräuschminderung ist im Zusammenhang mit dem Ventilator die Drehzahlregelung wesentlich. Bei Betrieb des Ventilators mit zwei unterschiedlichen Drehzahlen n_1 und n_2 ergibt sich mit Hilfe der Gleichung (4-1) für L_{w1} und L_{w2} bzw. die Differenz der Schalleistungspegel:

$$L_{w1} - L_{w2} = 20 \lg \Delta p_1 + 10 \lg \dot{V}_1 - 20 \lg \Delta p_2 - 10 \lg \dot{V}_2$$

$$L_{w1} - L_{w2} = 20 \lg \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} + 10 \lg \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}$$

Unter Berücksichtigung der Ähnlichkeitsgesetze für Ventilatoren $\dot{V} \sim n$ und $\Delta p \sim n^2$ ergibt sich der folgende Gleichung:

$$L_{w1} - L_{w2} = \left(20 \lg \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 + 10 \lg \frac{n_1}{n_2} \right) = 50 \lg \frac{n_1}{n_2} \quad (4-13).$$

Da diese Abschätzung auf der Grundlage der Luftströmung (Volumenstrom und Druckerhöhung) erfolgt, sollte die Anwendung dieser Gleichung auf den Betriebsbereich mit nennenswertem Volumenstrom begrenzt bleiben, d.h. das Strömungsgeräusch sollte die wesentliche Geräuschquelle am Ventilator sein. Es ist klar, dass bei sehr geringen Volumenströme andere Geräuschquelle am Ventilator (z.B. mechanische Geräusche) an Bedeutung gewinnen.

4.2.2 Gerades Rohr – Geräuschdämpfung

Die Eigendämpfung der Rohrleitungen wirkt insbesondere bei tiefen Frequenzen und ist letztlich auch von der Schalldämmung der Leitung abhängig. Rechteckige Luftleitungen weisen aufgrund der geringeren Steifigkeit und der damit verbundenen Schwingungen bzw. Geräuschabstrahlungen nach außen im Vergleich zu runden Luftleitungen eine größere Längsdämpfung auf. Die Längsdämpfung gemauerter

oder betonierter Luftleitungen ist vernachlässigbar.

Tabelle 4-5 zeigt die Pegelsenkung ΔL_w in geraden Luftleitungen je m Leitungslänge. Die Werte gelten Leitungen aus 1mm Stahlblech.

Abmessungen	ΔL_w in dB/m bei der Oktavmittenfrequenz				
	63 Hz	125Hz	250Hz	500Hz	> 1 kHz
Rechteckige Stahlblechleitung					
0,1m bis 0,2m	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3
Über 0,2m bis 0,4m	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2
Über 0,4m bis 0,8m	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15
Über 0,8m bis 1,0m	0,45	0,3	0,15	0,1	0,05
Runde Luftleitung					
0,1m bis 0,2m	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3
Über 0,2m bis 0,4m	0,05	0,1	0,1	0,15	0,2
Über 0,4m bis 0,8m	-	0,05	0,05	0,1	0,15
Über 0,8m bis 1,0m	-	-	-	0,05	0,05

Tabelle 4-5: Pegelsenkung ΔL_w in geraden Luftleitungen (Stahlblech) (ohne Auskleidung) [4-2]

Wie die Werte zeigen, ist die Dämpfung bei geraden Rohren eher gering. Deutliche Verbesserungen sind mit einer Auskleidung mit absorbierendem Material zu erzielen. Die Zusammenhänge für ausgekleidete Luftleitungen werden in Kapitel 5 ‚Schalldämpfer‘ erläutert.

4.2.3 Umlenkungen (Rohrbogen) - Geräuschdämpfung

Die Tabelle 4-6 zeigt die Werte der Schalleistungspegel-Minderung ΔL_w für verschiedene Rohrbogenkonfigurationen (ohne Auskleidungen).

Oktavmittenfrequenzen f_m [Hz]	Schalleistungspegel-Minderung ΔL_w [dB]								
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
90°- scharfkantig	0	3	7	6	3	3	3	3	3
90°- scharfkantig, mit einem Umlenklech	0	1	6	6	1	1	1	1	2
90°- gebogen mit Krümmungsradius	0	1	2	3	3	3	3	3	3

90°- Umlenkung mit Kreisquerschnitt und Krümmungsradius $r \leq 2D$	0	1	2	3	3	3	3	3	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabelle 4-6: Schalleistungspegel-Minderung ΔL_w für verschiedene Umlenkungen bzw. Rohrbogenkonfigurationen (ohne Auskleidungen, nach VDI 2081) [4-2]

Insbesondere für die Umlenkung ‚90° scharfkantig‘ ist der Einfluss der Reflexion zurück zur Schallquelle erkennbar.

Bei der Anwendung der Tabelle muss beachtet werden, dass die maßgebliche Oktavmittenfrequenz $f_m = 125$ Hz ist. Für die Ermittlung der Korrektur im jeweiligen Fall ist die Berechnung der Grenzfrequenz notwendig. Es gelten hierbei folgende Zusammenhänge:

$$\text{rechteckige Kanäle} \quad f_G = \frac{c}{2a} \quad (4-14)$$

$$\text{runde Kanäle} \quad f_G = 0,586 \frac{c}{d} \quad (4-15)$$

Aufgrund der ermittelten Grenzfrequenz kann das Oktavband bzw. die Oktavmittenfrequenz festgelegt werden. Sofern die so ermittelte Oktavmittenfrequenz nicht $f_m = 125$ Hz ist, müssen jetzt noch die Tabellenwerte entsprechend der ermittelten Oktavmittenfrequenz bzgl. der Auslegungsfrequenz der Tabelle von $f_m = 125$ Hz verschoben werden.

Beispiel?

Vergleichbar der Situation bei geraden Rohren ergeben sich deutlich Verbesserungen sofern die Umlenkungen mit absorbierenden Auskleidungen versehen werden können (siehe Kapitel 5 ‚Schalldämpfer‘).

4.2.4 Querschnittsprung

Aufgrund der an Querschnittssprüngen auftretenden Reflexionen, findet eine Pegelminderung statt. Die Richtlinie VDI 2081 gibt hierzu Abschätzungen (Tabelle 4-7). Es wird empfohlen maximal eine Pegelminderung von 5 dB zu berücksichtigen.

Ergänzend sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Pegelsenkung an einem konischen Übergangsstück, d.h. die Querschnittsänderung erfolgt nicht plötzlich sondern kontinuierlich und der Übergang ist lang im Verhältnis zur Wellenlänge, vernachlässigbar ist.

$r = \frac{S_1}{S_2}$	Querschnitts- änderung	Frequenz f [Hz]	ΔL_{wi} [dB]
Plötzliche Erweiterung $r < 1$		$f \leq f_{G1}^*)$	$10 \lg \frac{(r+1)^2}{4r}$
		$f > f_{G1}^*)$	≈ 0
Plötzliche Verengung $r > 1$		Kein Einfluss	$10 \lg \frac{(r+1)^2}{4r}$
*) $f_{G1} = f_G$ für S_1 berechnet nach Gl. (4-15) bzw. (4-16)			
<p style="text-align: center;">Schalleistungspegel- differenz ΔL_{wi}</p> <p style="text-align: center;">Querschnittsänderung $S_1 / S_2 = r$</p>			

Tabelle 4-7: Dämpfung aufgrund einfacher Querschnittssprünge (nach VDI 2081) [4-2]

4.2.4 Verzweigungen

Bei Verzweigungen teilt sich die ankommende Schalleistung auf die abzweigenden Kanäle auf. Die Aufteilung erfolgt frequenzunabhängig. Bzgl. der Pegelminderung wird das Querschnittsverhältnis der zu berechnenden Teilleitungen S_i zur Summe aller Teilleitungen berücksichtigt:

$$\Delta L_w = 10 \lg \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (4-16)$$

Das Diagramm 4-6 zeigt den Zusammenhang.

...