

Hersteller und Anlagenbauer in der Pflicht

Schall und Schwingungen im Griff

Edgar Holzhäuser und Alexander Wirsching, Altenstadt/Hessen

Bei der Einrichtung und beim späteren Betrieb von Kälteanlagen stößt man immer wieder auf Schall und Schwingungen und der damit einhergehenden Lärmentstehung. Mehr denn je ist eine Sensibilisierung der Bevölkerung bezüglich Lärmbelästigung erkennbar, die sich z.B. auch in der Aussage der europäischen Kommission „Umweltlärm ist einer der größten lokalen Umweltprobleme in Europa“ [1] widerspiegelt.

In der Verantwortung stehen nun zwei Personenkreise vorrangig im Mittelpunkt. Zum einen die Hersteller, deren Pflicht es sein muss, beherrschbare Verbundanlagen und Systeme zu liefern. Zum anderen die Kälteanlagenbauer, die durch die Montage der Kälteanlage den größten Einfluss auf die Lärmentstehung haben. Um „leise“ Kälteanlagen zu erstellen sind umfassende Beratung und Anwendungshinweise vom Hersteller gute Projektierungsunterstützungen, die dem Kälteanlagenbauer bereits im Vorfeld weiterhelfen. Beratung heißt z.B. die Unterstützung bei der Projektierung der Rohrleitungsführung.

Die Betrachtung „worauf es ankommt“ ist der Kernpunkt dieses Themas.

Als Basis dient die Überlegung, welche „Schallformen“ führen in der Kältetechnik zu Lärm und wie lassen sie sich vermeiden bzw. vermindern.

- 1.) **Luftschall** – die für das **Ohr** wahrnehmbare Schallform und damit die entscheidende Größe der Lärmbelästigung.
- 2.) **Körperschall** – die für die **Finger** wahrnehmbare Schallform. Körperschall führt jedoch letztendlich immer zu Luftschall.
- 3.) **Pulsationen** – die mittels **Manometer** wahrnehmbare Schallform. Pulsationen tragen jedoch an den Rohrleitungen und Rohrleitungsbauteilen (u. a. Verflüssiger) zur Körperschallerzeugung bei und führen letztendlich wieder zu Luftschall.
- 4.) **„Optischer Schall“** – die für das **Auge** wahrnehmbare Schallform. Sie ist rein subjektiv und beruht auf Erfahrungen die der Mensch im Laufe seines Lebens sammelt.

Beim Luftschall stellt sich der Schall als eine Luftdruckänderung dar, die dem statischen Atmosphärenluftdruck (ca. 101300 Pa), im hörbaren Bereich zwischen 20 μ Pa und ca. 100 Pa, überlagert ist. Als Größe gilt hier der Schalldruckpegel mit der Einheit dB (deziBel). Entscheidend ist jedoch, dass der Luftschall vom Menschen

zu den Autoren

**Dipl. Ing.
Edgar Holzhäuser,**
Technischer Leiter
TEKO GmbH,
Altenstadt



**Alexander
Wirsching,**
Leiter Entwicklung
TEKO GmbH,
Altenstadt



ähnlich wie z.B. die Raumtemperatur subjektiv empfunden wird. Der Schalldruckpegel nimmt mit der Entfernung ab, d.h. je weiter man sich von einer Schallquelle entfernt, umso leiser wird diese.

In der Anwendung von Schallpegeln besteht die große Gefahr von Verwechslung der Größen Schalldruckpegel (L_p) und Schalleistungspegel (L_w), da beide mit der Einheit dB versehen sind. Der Schalleistungspegel beschreibt den Anteil der aufgenommenen Leistung, der zur Erzeugung von Schalldruck aufgebracht wird und dient eher als rechnerische Größe zur Bestimmung von Schalldruckpegeln unter der Berücksichtigung örtlicher Gegeben-

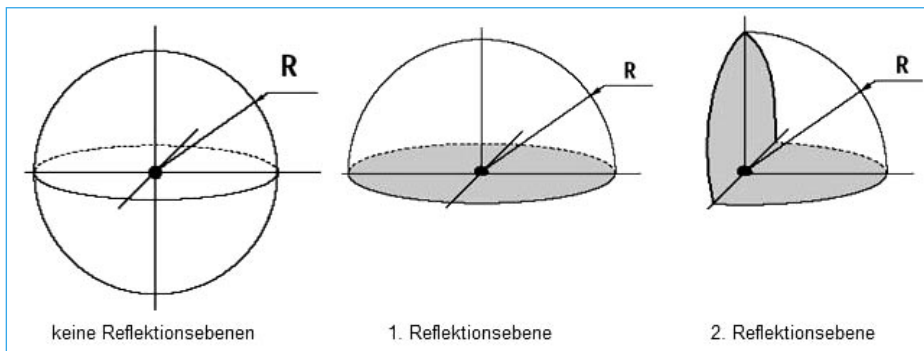


Bild 1 Darstellung von Reflektionsebenen

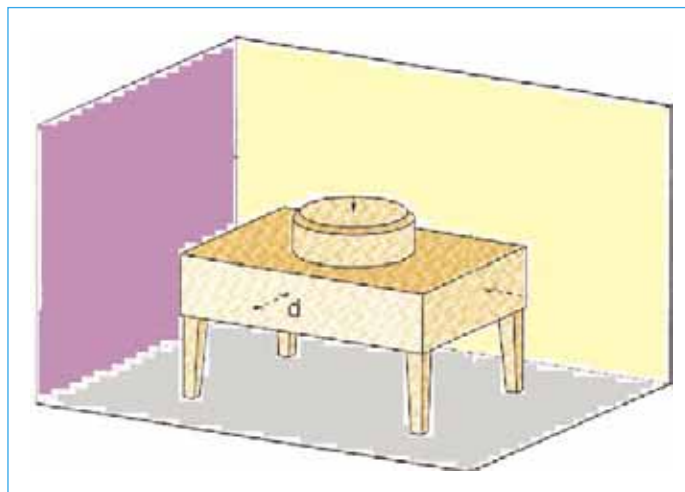
Quellen:

[1] Richtlinie 2000/14/EG

heiten (z.B. Reflektionen, Dämpfung und Dämmung). Der Unterschied lässt sich bildlich wie folgt vorstellen: Wirft man einen Stein in einen See mit ruhiger Wasseroberfläche, so entstehen Wellen die sich ringförmig ausbreiten. Je weiter ein Wellenring von der Einschlagstelle ist, umso niedriger ist die Welle, aber umso größer ist der Ringumfang. Die Höhe der Welle stellt hierbei den Schalldruck dar, eine Funktion aus Wellenhöhe und Ringumfang die Schalleistung, dies bedeutet die Schalleistung ist entfernungsunabhängig. Tatsächlich breitet sich Schall aber, abweichend von der beschriebenen Situation, kugelförmig, also in drei Dimensionen, aus.

Werden zwei gleiche Schallquellen nebeneinander gestellt, so verdoppelt sich die Schallerzeugung. Das bedeutet, bezogen auf den Schalldruckpegel eines Gerätes, eine Erhöhung um 3 dB, dies wird subjektiv erkennbar wahrgenommen. Der Effekt der Verdopplung kann auch mittels Reflektion erreicht werden. Da die schallerzeugenden Teile einer Kälteanlage nicht in der Luft hängen, sondern meist auf dem Boden aufgestellt werden, ergibt sich die erste Reflektionsebene, der Boden. Dass heißt, der von der Schallquelle in Richtung Boden abgestrahlte Schall wird, im schlimmsten Fall vollständig, reflektiert und erzeugt einen um 3 dB höheren Schalldruckpegel. Jede weitere Reflektionsebene, z.B. Wände, Decke, usw. (siehe Bild 1) erhöht den Schalldruckpegel um jeweils ca. 3 dB.

Bild 2 Typische Anwendung



In vielen Fällen steht ein Verflüssiger in einer Hausecke auf dem Boden, oder hängt relativ dicht darüber an der Wand (siehe Bild 2). Damit ergibt sich eine theoretische Schalldruckerhöhung von 9 dB (ohne Berücksichtigung der Einflüsse von Reflektionsebenen untereinander). Bei einer Schalldruckpegelerhöhung von ca. 10 dB wird dies als doppelt so laut empfunden. Damit ist der Ärger aus eben beschriebener Situation vorprogrammiert, da dieser Verflüssiger oftmals nach dem dokumentierten Schalldruckpegel des Herstellers, der diese Pegel im Freifeld (also ohne Reflektionen) angibt, ausgesucht wird.

Die Betrachtung der Aufstellungsbedingungen nimmt somit entschieden Einfluss auf die spätere Lärmentstehung. So kann

bereits in der Projektierungsphase Rücksicht auf die Aufstellung genommen werden, um spätere kostenintensive Umbauten zu vermeiden. Ist aufgrund der baulichen Situation eine Schalldämmung unumgänglich, gibt es hierzu vielfache Möglichkeiten, die jedoch unbedingt in Abhängigkeit der Schallquelle ausgelegt werden müssen. Der so genannte „Eierkarton“ beruhigt maximal das Gewissen, jedoch nicht die Lärmquelle. Auch der Einsatz von wärmedämmenden Schäumen führt nicht zu den gewünschten, im besten Fall verschiebt er die Eigenfrequenz eines „scheppernden“ Bleches, hierzu später mehr. Wärmedämmende Schäume sind für ihre Funktion geschlossenporig ausgeführt, d.h. die in den Poren eingeschlosse-

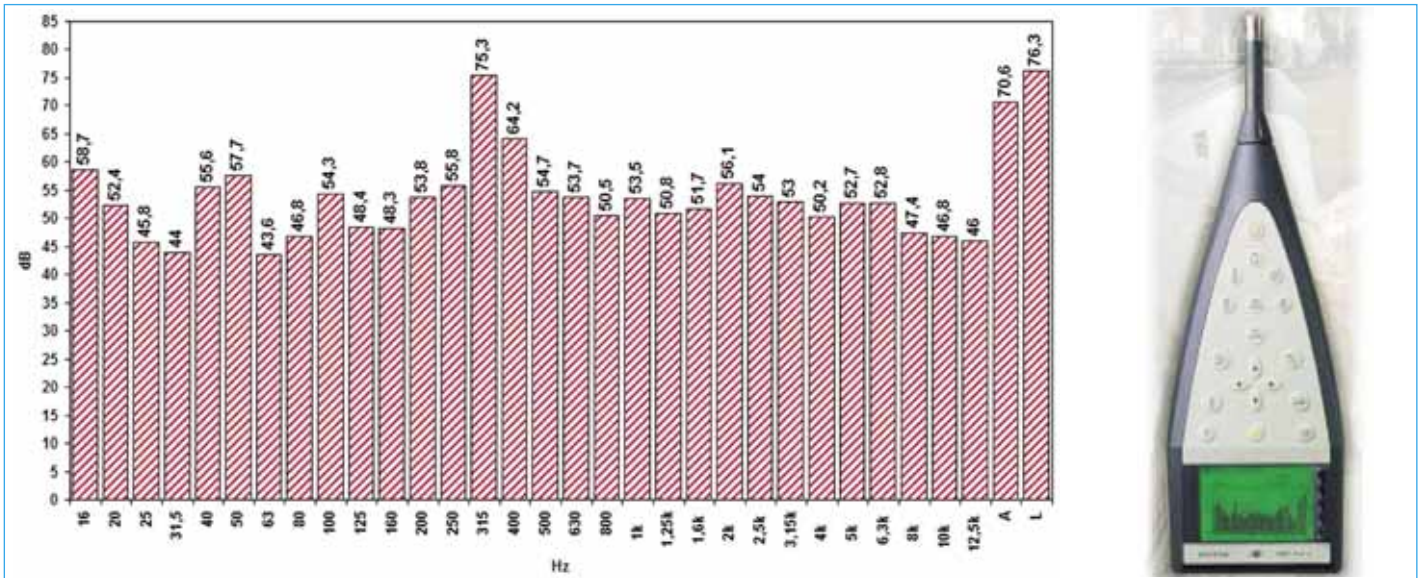


Bild 3 Frequenzspektrum einer vollhermetischen Verbundmaschine und entsprechender Schallpegelmesser

ne Luft dient als Isolator. Schalldämmende Schäume sind offenporig, die in die Poren eintretenden Schallwellen verfangen sich dort und minimieren den Schallpegel.

Die Auslegung von Schalldämmmaßnahmen verlangt die Kenntnis über den Frequenzbereich der Schallentstehung (siehe Bild 3). Dazu sind aber wiederum sehr teure Messinstrumente notwendig, deren Anschaffung und Einsatz für den Anlagenbauer in den meisten Fällen unrentabel ist. Hier kommt wieder der Komponentenhersteller ins Spiel, der in der Lage sein sollte diese Daten zur Verfügung zu stellen.

In kritischen Fällen kann bereits in der Projektierungsphase mit dem Schallleistungspegel, und dessen Frequenzverlauf, eine optimale Schalldämmung errechnet werden. Der Vorteil liegt darin, dass die benötigten Kosten von vornherein klar sind und nicht erst im Nachhinein unkalulierter Aufwand entsteht. Nachteilig ist, dass die Berechnungen eines Spezialisten

(Akustiker) bedürfen, der natürlich nicht umsonst arbeitet.

Im Fall von **Körperschall** liegt eine „wellenförmige“ Bewegung innerhalb fester Körper vor, der Körper schwingt. An den Grenzflächen wird diese Bewegung an andere Körper oder an die Luft weitergegeben, es entsteht, in letztem Fall, Luftschall und wird damit hörbar. In der Praxis zeigt sich dieser Effekt z. B. in einem Gebäudeteil, der so weit vom Maschinenraum entfernt ist, dass direkter Luftschall ausgeschlossen werden kann, und trotzdem ist das Betriebsgeräusch des Verdichters wahrnehmbar. Da die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern (Stahl, Kupfer, Beton, etc.) meist erheblich höher ist als die der Luft treten Körperschallprobleme in Gebäuden an ungeahnten Stellen auf, z. B. drei bis vier Etagen über dem Maschinenraum in mehrstöckigen Häusern. Grund ist die Wellenlänge der Schallwellen die sich aus dem Verhältnis von Schallgeschwindigkeit und Frequenz ergibt.

Körperschall zeigt sich dann besonders stark, wenn die von der Schallquelle erzeugte Erregerfrequenz mit der Eigenfrequenz des erregten Systems übereinstimmt. Es entsteht die so genannte Resonanz. Bezogen auf z. B. Verdichter, Verflüssigungssätze, Verbundmaschinen, usw. ist die Betrachtung der Unterkonstruktion, wie Maschinenrahmen oder Grundplatte, ebenso wichtig, wie die Körperschallentkopplung durch Vibrationsabsorber und Rohrkomensatoren, um eine Schallverbreitung zu minimieren. Die Erregerfrequenz hängt hauptsächlich von der Drehzahl und, beim Hubkolbenverdichter, der Anzahl der Zylinder ab.

Je weniger ein Maschinenrahmen schwingt, umso geringer wird natürlich eine mögliche Körperschallübertragung sein. Bild 4 zeigt das Ergebnis einer entsprechenden Software, die anhand eines konstruierten Verbundmaschinenrahmens die Eigenfrequenz des Systems errechnet. Trifft die Eigenfrequenz dieses Systems auf die bekannten Erregerfrequenzen von Kompressoren, gilt es diese Konstruktion so abzuändern, dass eine Resonanzentstehung vermieden wird.

Solche Konstruktionen besitzen mehrere Eigenfrequenzen mit verschiedenen Bewegungsrichtungen. Die sich ergebenden Bewegungen wirken u.a. auch auf die montierten und angeschlossenen Rohrleitungen und stressen diese bis hin zum Rohrbruch im Resonanzfall. Variiert nun die Erregerfrequenz, z. B. durch Betrieb eines oder mehrerer Verdichter durch Leistungsanpassung mittel Frequenzumformers, durchfährt man eine Vielzahl von Eigenfrequenzen der Konstruktion und

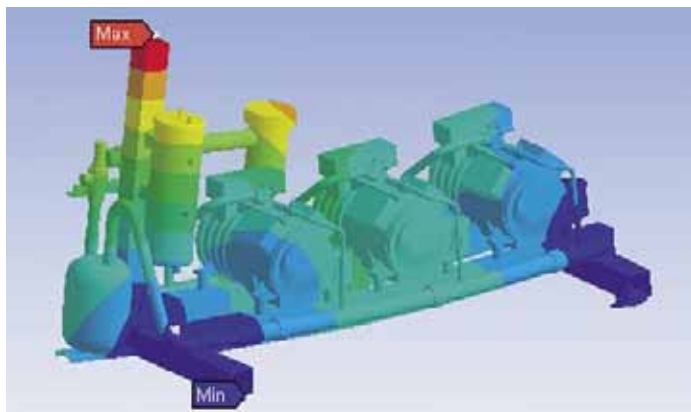


Bild 4 BASICLINE – Modell der Eigenfrequenzberechnung in übertriebener Darstellung, hier 51 Hz

erhält immer wieder die unerwünschte Resonanz mit all ihren Konsequenzen. Hier ist eine detaillierte Betrachtung unerlässlich. Solche Systeme lassen sich nur im Zusammenhang mit einem entsprechenden Messsystem bewerten um letztlich zu einem befriedigenden Ergebnis zu kommen.

Selbst bei schwingungsoptimierten Konstruktionen bleibt der Einsatz von Körperschallentkopplern wichtig. Denn unsere Erfahrungen zeigen, dass Symptom und Ursache nicht gleich sind. Ein Rohrbruch innerhalb der Verbundmaschine kann durch die Resonanz im weiterführenden Rohrleitungsnetz ausgelöst werden, weil auf eine Entkopplung verzichtet wurde. Der Montageaufwand eines Schwingungsausgleichers während der Bauphase steht in keinem Verhältnis zu den Kosten, die durch Rohrbruch und nachträgliche Montage entstehen.

Die Aufstellungsbedingungen spielen bei der Körperschallübertragung ebenso eine Rolle. Die sinnvollerweise oftmals montierten Vibrationsabsorber unter Maschinen werden nach Erregerfrequenz und Gewicht ausgelegt. Bei der Gewichtsermittlung der einzelnen Montagepunkte verwenden wir eine ebene Fläche. Schon eine Unebenheit von vier, fünf Millimetern

bezogen auf Maschinenabmessungen von ca. 1600 x 800 mm verändert je Vibrationsabsorber die Belastung derart, dass diese im Vergleich zu dem für die Auslegung gemessenen Gewicht erheblich abweicht und dadurch der Vibrationsabsorber seine Funktion verlieren kann. Letztendlich findet dann eine Körperschallübertragung auf den Boden statt. Wichtig ist also die Forderung an den Auftraggeber einen waagerechten und ebenen Maschinenboden, der als Maschinenfundament ausgeführt ist, zur Verfügung zu stellen.

Pulsationen entstehen in Flüssigkeiten, Dämpfen und Gasen, mehr oder minder ausgeprägt, unter anderem in Abhängigkeit von der Art des Fluids und dessen Betriebszustand, der Strömungsgeschwindigkeit, der Schallgeschwindigkeit des Fluids, geraden Längen der Rohrleitungen (Vielfache der Wellenlänge), usw. Die Pulsationswellen regen den umgebenden Körper (Rohrleitung) zu Körperschall-schwingung an und führen letztendlich, wie beschrieben, wiederum zu Luftschall.

Da Pulsationen in der Kältetechnik am massivsten in der Druckleitung auftreten, wird bei Lärmbelastung z. B. der durch die Druckstöße angeregte Verflüssiger sehr schnell als Schuldiger ermittelt, wofür dieser gar nicht verantwortlich gemacht

werden kann. Pulsationen sind sehr energiegeladig und führen häufig zu Zerstörungen an den Rohrleitungen und Rohrleitungsbauteilen.

Zur Entstehung von Pulsationen tragen, wie bereits erwähnt sehr viele und schlecht greifbare Parameter bei. In der Projektierungsphase bleiben zumindest folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Rohrleitungen nicht nach der Anschlussgröße von Komponenten auslegen.
- Rohrleitungsverlegung in Bezug auf die Wellenlänge berücksichtigen.
- Einsatz von Geräuschdämpfern (Richtungs-, Volumen- bzw. Durchmesser-Änderung, etc.) im Zusammenspiel mit Rohrkompensatoren.

Bei leistungsgeregelten Anlagen ist der Einsatz eines einstellbaren Mufflers grundsätzlich empfehlenswert. Hierbei kann die Einstellung so gewählt werden, dass die Pulsationen in allen Betriebszuständen optimal reduziert werden.

In Bild 5 ist der Effekt eines Mufflers deutlich erkennbar.

Die Bezeichnung „**Optischer Schall**“ soll eine erwartete Schalleinwirkung aufgrund von Erfahrungen beschreiben. So kommt es in der Praxis immer wieder vor, dass eben aufgestellte und noch nicht angeschlossene Verflüssiger zu Anwohnerbe-

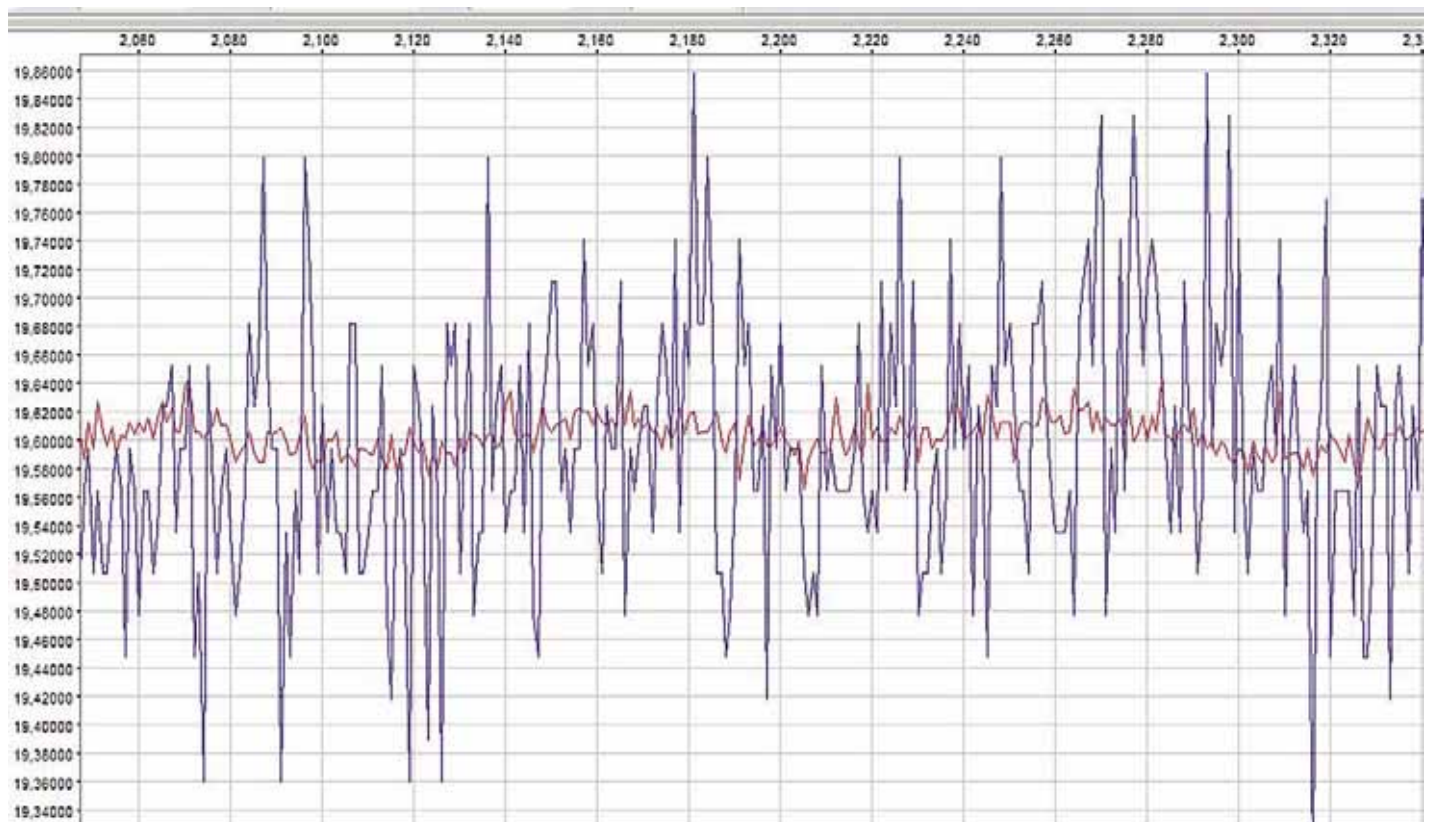


Bild 5 Pulsationen vor dem Muffler (blau) und danach (rot)



*Bild 6 Sichtbar
ungünstig montierter
Verflüssiger, fotogra-
fiert von der Terrasse
eines belästigten
Nachbarn*

schwerden führen, weil sich die Ventilatoren im Wind drehen (siehe Bild 6). Diese Tatsache beruht, wie gesagt, auf Erfahrungen, die jeder in seinem Leben sammelt. So sind in o.g. Zusammenhang vielleicht folgende Erfahrungen ausschlaggebend: „Ich sehe einen drehenden Ventilator und höre ein zugehöriges Geräusch, d.h. Ventilator = Geräusch“ und „Ein großes Flugzeug ist lauter als ein kleines“. Solche Ereignisse erfährt man immer wieder und je öfter, desto tiefer sitzen diese. In der Summe ergibt sich: „Ich sehe einen Ventilator = Geräusch und er ist groß = Lärm“. Im Prinzip geht es uns allen so, wer will schon einen Verflüssigerlüfter vor die Nase gesetzt bekommen, wenn er dann auch noch die für die Kältetechnik typischen Ausmaße annimmt.

Solche Schwierigkeiten können bereits in der Projektierungsphase, jedoch spätestens bei der Montage vermieden werden, wenn sie berücksichtigt werden.

Sind die in diesem Vortrag beschriebenen Beschwerden erst einmal eingetreten, wird der Anlagenerrichter sehr schnell für die immer sehr kostspieligen Umbauarbeiten herhalten müssen. Wenn alle beteiligten Partner von Anfang bis Ende, sprich von der Projektierung bis zur Übergabe an den Betreiber, entsprechend vorausschauend planen, wird sich eine erfolgreiche Projektumsetzung einstellen. So gilt es für den Kälteanlagenbauer die Möglichkeiten, die der Hersteller zur Verfügung stellt, in Theorie und Praxis zu nutzen. ■