[8] Abgeleitet aus zahlreichen Literaturangaben und etwa entsprechend den Modellmessungen von *Geiger-Sitzler*.

[9] *Shepherd:* „Erfahrungen mit elektrischer Speicherheizung in England", H. 7/1962 Elektrowärme. — *Krieger:* „Erfahrungen mit der Vollspeicher-Fußbodenheizung", H. 10/1966 Gesundheits-Ingenieur.

[10] Zusammenfassend: *Kollmar:* „Temperaturverlauf und Wärmespeicherung bei der Elektro-Fußbodenheizung", H. 11/1970 Gesundheits-Ingenieur. — Neuerdings *Geiger* und *Espach:* „Temperaturverhalten einer Fußbodenheizung bei auftretendem Wärmestau" und *Lillich:* „Auslegung der elektrischen Fußboden-Speicherheizung", beide in H. 10/1971 Heizung-Lüftung-Haustechnik.

(Wird fortgesetzt)

Fenster, Schalldämmung und Lüftung

C. I. Mitter, Krefeld*

Die nachstehenden Ausführungen geben einen Überblick über das komplexe Gebiet der Fensterschalldämmung in Verbindung mit der Lüftung. Gerade in der letzten Zeit wird über dieses Thema sehr häufig gesprochen, in vielen Fällen allerdings nur am Rande oder aber, wenn es schon zu spät ist.

I. Aufgaben des Fensters

Um die Frage nach der Aktualität des Themas beantworten zu können, muß man zunächst überlegen, welche Funktion ein Fenster hat. Wie kann es diese erfüllen und was ist ein Fenster überhaupt? Der letzte Punkt der Frage läßt sich relativ einfach beantworten. Das Fenster besteht in seinen Grundzügen aus einem Rahmen, welcher fest in das Mauerwerk bzw. den Baukörper eingesetzt wird. Ein zweiter Rahmen wird in diesen ersten Rahmen eingepaßt und hat die Hauptaufgabe, die Verglasung aufzunehmen. Mit dieser zusammen wird der zweite Rahmen für die Reinigungs- und Lüftungszwecke geöffnet.

Die erste Frage, und zwar die nach der Funktion des Fensters, läßt sich dagegen nicht so einfach beantworten. Sie ist sehr vielschichtig und geht damit in die verschiedensten Gewerke ein. Wichtig ist auf der einen Seite, daß das Fenster, also der Rahmen und die Verglasung, dort wo es eingesetzt wird, den Baukörper ersetzen soll. Andererseits hat das Fenster eine ähnliche Funktion wie die Haut des Menschen bzw. überhaupt des Lebewesens zu erfüllen. Es muß die dahinter liegenden Zellen gegen alle äußeren Einflüsse wie Klima, Witterung, Schall, Gerüche und dergleichen schützen und dennoch mit Licht, Luft, Sonne, Wärme und Kühle versorgen.

Fensterlüftung in früheren Jahren

Früher war das Lüftungsproblem verhältnismäßig leicht zu lösen. Die Räume waren erheblich größer, beinhalteten somit größere Luftvolumen, und die Immissionen waren wesentlich geringer. In den meisten Fällen reichte es aus, zur Lüftung das Fenster gelegentlich zu öffnen. Durch die großen Raumhöhen waren in den Oberteilen der Fenster meistens Oberlichte angeordnet. Diese boten als Kipp- oder Klappflügel eine sehr praktische Dauerlüftungsmöglichkeit. Diese Art der Lüftung bzw. des Luftwechsels war sicher und einfach und trotzdem wirkungsvoll.

Das Lüftungsprinzip funktionierte dergestalt, daß infolge der Wärmeunterschiede der einzelnen Räume oder auch im Raum eine stetige leichte Luftbewegung vorhanden war und durch diese dann bei geöffnetem Fenster der Luftwechsel stattfand, sei es durch den geöffneten Fensterflügel oder die unzähligen kleinen Ritzen der Fensterfugen, Türspalte, Schlüssellöcher usw.

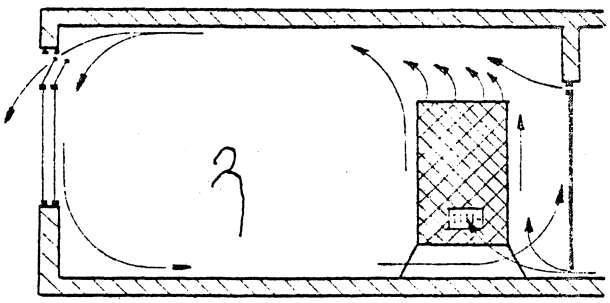

Bild 1. Freie Fensterlüftung früher.

Selbstverständlich kam es auch öfter zu Zugerscheinungen, insbesondere durch den auf die Fassade auftreffenden Wind. Diese Zugerscheinungen rührten daher, daß die Lufterneuerung zwangsmäßig entweder durch den Wind oder andere Umstände erfolgte. Es wurde die Luft auf der einen Seite in den Raum hineingeschoben oder auf der anderen Seite herausgezogen; es zog also. Die automatische Lufterneuerung durch Temperaturunterschiede, welche praktisch nur einen gleichmäßigen Luftaustausch kannte, wurde somit gestört. Diese Zugerscheinungen werden von der medizinischen Seite, soweit sie innerhalb gewisser Grenzen bleiben, nicht abgelehnt, sondern im Gegenteil befürwortet. Der gesamte Organismus bleibt durch dieses Reiztrauma im Training. Es schadet im allgemeinen gar nichts, wenn die Temperatur einmal kurzzeitig auf + 15 °C absinkt und Luftgeschwindigkeiten von 0,3, 0,4 oder auch 0,5 m/s auftreten, allerdings nur kurzfristig *(Bild 1)*.

*) Entnommen dem Heft Nr. 240 „Haus der Technik" mit freundlicher Genehmigung der Vulkan-Verlag Dr. W. Classen Nachf. GmbH & Co. KG, 4300 Essen. Die Bilderklischees stellte I. F. Lehmanns Verlag, München, aus seiner Zeitschrift „Kampf dem Lärm" zur Verfügung.

Fensterlüftung heute

Aus dem soeben Geschilderten ergibt sich eindeutig, daß die freie Fensterlüftung eigentlich eine ideale Lüftungsmöglichkeit darstellt. Allerdings ist für diese Fensterlüftung Voraussetzung, daß das Fenster in irgendeiner Form geöffnet werden kann. Schon die Öffnungsweise ist aber heute schon nicht mehr ganz einfach. Oft setzen Gestaltungswünsche den Öffnungsarten der Fensterflügel Grenzen. In den seltensten Fällen können infolge der geringen Raumhöhen bei den Fenstern Oberlichte angeordnet werden. Man ist somit auf andere Öffnungsarten festgelegt, die nicht immer den gleichen günstigen Lüftungserfolg bringen, wie er früher eigentlich üblich war *(Bild 2)*.

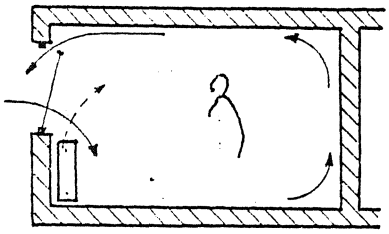

Bild 2. Freie Fensterlüftung heute.

2. Schallimmission

Es ist aber nicht nur das Problem der Fensterlüftung, das uns heute zu schaffen macht, sondern es sind hauptsächlich die durch das geöffnete Fenster eindringenden äußeren Störeinflüsse. An erster Stelle stehen hierbei die Schallimmissionen. Diese stellen an und für sich nichts Neues dar, obwohl man manchmal das Gefühl hat, daß die gegebenen Probleme nicht genügend bekannt sind. Das mag aber daran liegen, daß man früher nicht so unter den Schallquellen zu leiden hatte wie heute. Früher waren die Fenster, obwohl sie hoch waren, in ihrer Gesamtfläche relativ klein, so daß durch das Wand-Fenster-Flächenverhältnis ein zusätzlicher Schutz wirksam wurde. In vielen Fällen waren, zumindest in den Klimazonen, 2 und 3 Doppelfenster eingebaut, die natürlich einen wirksamen Schutz gegen Geräuschimmissionen boten. Weiterhin lagen die Schlafräume meistens nicht zur Straßenseite hin. Natürlich waren damals die Schallquellen andere, und die Häufigkeit der Schallimmissionen war geringer.

Straßenverkehrslärm

Der Straßenverkehrslärm ist heute an vielen Stellen auch nachts nicht erheblich geringer als tagsüber; man denke an Hauptstraßen, Ausfallstraßen und Autobahnen. Die Fahrzeuge werden immer seltener während der Wintermonate abgemeldet, um dann nur die öffentlichen Verkehrsmittel zu benutzen. Ganz gleich, ob im Sommer oder Winter, ob tagsüber oder nachts, der Verkehr rauscht.

Bei der Betrachtung des Straßenverkehrslärms darf natürlich nicht übersehen werden, daß sich die Art der Fahrzeuge der Motoren, der Bereifung und dergleichen gerade in den letzten Jahren erheblich geändert hat. In den 50er Jahren waren noch sehr viele Zweitaktmotoren im Straßengeschehen beteiligt. Heute sind es, zumindest bei 4-Rad-Fahrzeugen, hauptsächlich Viertaktmotoren und in einer großen Anzahl auch 6-Zylinder. Hinzu kommt die Zunahme der Gürtelreifen, der Spikes und sonstiger Winterreifen. Dadurch ergeben sich andere als die bisher bekannten Geräuschspektren.

Fluglärm

Der Fluglärm spielte vor etwa 60 Jahren keine Rolle in bezug auf seine Störschallwirkung, wurde aber in vielen Gebieten im Verlauf der 50er und 60er Jahre die Hauptstörquelle. Einige Zahlenbeispiele mögen dies deutlich machen. Der westdeutsche Großflughafen Nr. 1, Frankfurt, steht in Europa hinsichtlich des Passagieraufkommens an dritter Stelle, hinsichtlich des Frachtaufkommens an zweiter Stelle. Der Frachtumschlag des Flughafens Frankfurt ist heute bereits größer als der Seefrachtumschlag in Bremerhaven. Im Jahre 1936 wurden etwa 24 000 bis 25 000 Passagiere vom bzw. zum Frankfurter Flughafen befördert. Im Jahre 1966, als nur eine Generation später, war dies der Passagierumsatz je Tag [1].

Als vor über 10 Jahren die ersten Passagiermaschinen mit Strahltriebwerken eingesetzt wurden, behauptete man, daß diese nicht lauter als die herkömmlichen Maschinen mit Kolbentriebwerken seien. Das stimmt hinsichtlich des effektiven Schalldruckes, nicht aber in bezug auf das Geräuschspektrum. Sämtliche Düsenmaschinen haben ein sehr breitbandiges Geräusch, das weitaus unangenehmer als das der herkömmlichen Kolbenmaschine ist.

3. Schallschutz durch Fenster

In den besonders lärmgefährdeten Gebieten bleibt den Bewohnern der Gebäude nichts anderes übrig, als die Fenster geschlossen zu halten, um zu einigermaßen erträglichen Verhältnissen zu kommen. Bei geschlossenem Fenster fehlt aber die freie Fensterlüftung. Dort, wo die Geräusch-Immissionen sehr stark sind, müssen die Fenster mit erhöhtem Schalldämmwert eingebaut werden, wofür die Grundvoraussetzung der Dichtheit im geschlossenen Zustand ist.

Durch entsprechende Auswahl der Fensterkonstruktion und durch entsprechende Verglasung lassen sich heute Schalldämmwerte erzielen, die zumindest ebenso groß sind wie die des konventionellen Mauerwerks. Sie können eine Größenordnung von bis zu 50 dB erreichen. Im allgemeinen liegen die Fensterschalldämmwerte bei 10 bis 20 dB, sofern keine besonderen Ansprüche gestellt wurden. In *Bild 3* [2] sind verschiedene Schalldämmwerte unterschiedlicher schalldämmender Fensterkonstruktionen bzw. Verglasungen zusammengefaßt und der Sollkurve der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau", die für die Luftschalldämmung der Wände gilt, gegenübergestellt.

Aus diesen Kurven geht eindeutig hervor, daß nicht immer die aufwendigste Fenster- bzw. Verglasungskonsruktion den besten Wert erbringt. So zeigt z. B. das Fenster mit der Einfachverglasung von 9 mm Dicke (strich-punktierte Linie) schon einen ganz brauchbaren Schalldämmwert, insbesondere auch im tieferen Frequenzbereich, wogegen die Isolierverglasung mit einer Gesamtglasdicke von 16 mm — dargestellt durch die punktierte Linie — erhebliche Einbrüche, besonders im tiefen Frequenzbereich und nochmals durch die Koinzidenzfrequenz im hohen Frequenzbereich bringt.

Diese Beispiele zeigen eindeutig, daß für das einzelne, besonders immissionsgefährdete Objekt eine sehr genaue Auswahl der Fensterkonstruktion und der Verglasung getroffen werden muß, um das Optimum der Schalldämmung gerade im immitierenden Frequenzbereich zu erreichen.

Das Diagramm zur Bestimmung des Fensterschalldämmwertes *(Bild 4)* [4] soll im Vorentwurf eines Bauobjektes dazu beitragen, den mittleren Schalldämmwert des Fensters

zu bestimmen. Zunächst muß auf der Ordinate festgestellt werden, welchen zulässigen dB(A)-Pegel man im Innenraum wie hoch der zu erwartende dB(A)-Pegel außen ist. Der der Abszisse bzw. Ordinate zeigt den erforderlichen Fenster-Schnittpunkt der Linien von den gefundenen Punkten auf der Abskizze bzw. Ordinate zeigt den erforderlichen Fensterschalldämmwert. Die fett geschriebenen Zahlen bedeuten in jedem Fall die Verwendung von Kastendoppelfenstern.

Dieser Abschätzung des erforderlichen Schalldämmwertes muß natürlich im Stadium der Bauausführung noch eine genauere Untersuchung folgen, um zu optimalen Lösungen zu gelangen. Nicht nur der Fensterschalldämmwert ist entscheidend, sondern auch die dafür aufzubringenden Kosten.

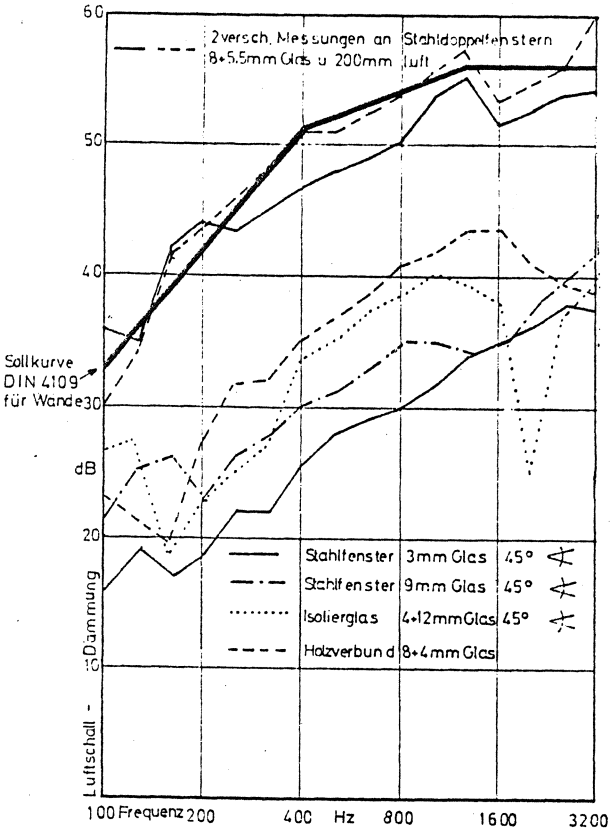

Bild 3. Schalldämmung verschiedener Fenster.

4. Zwangslüftung

Müssen die Fenster aus Schallschutzgründen geschlossen bleiben, so müssen andere Wege gesucht werden, um den Frischluftbedarf der Menschen in den Gebäuden zu sichern. Die künstliche Be- und Entlüftung bzw. Teil- oder Vollklimatisierung der Räume wird an dieser Stelle ausgeklammert, da diese Systeme bekannt sind. Sie werden heute im allgemeinen beherrscht, wenn sie auch hier und da noch Schwierigkeiten mit sich bringen. Oft sind es aber die Bau- und insbesondere die Unterhaltungskosten, die die Verwendung derartiger Anlagen in vielen Gebäuden, insbesondere im Wohnungsbau, nicht zulassen. Welche sonstigen Wege bleiben dann für die Belüftung noch offen?

Berliner und Kölner Lüftung

In vielen Fällen reichte für Küchen und Bäder die sogenannte Kölner oder Berliner Lüftung. Dadurch aber, daß der Lärm auch durch die Fluggeräusche an alle Seiten des Gebäudes kommen kann, wird die Anwendung dieser Lüftungssysteme für andere Räume in Frage gestellt. Bei der Berliner Lüftung wird praktisch in Einzel- oder auch Sammelschachtanlagen die Abluft von einer Lüftungsöffnung im Raum über Dach abgeführt. Solange die Fenster normal undicht sein konnten und auch das notwendige Temperaturgefälle vorhanden war, war gleichzeitig für einen gewissen Luftwechsel gesorgt. Dieser entfällt, wenn die Fenster aus Schallschutzgründen dicht schließen müssen und auch alle sonstigen Öffnungen verschlossen bleiben *(Bild 5)*.

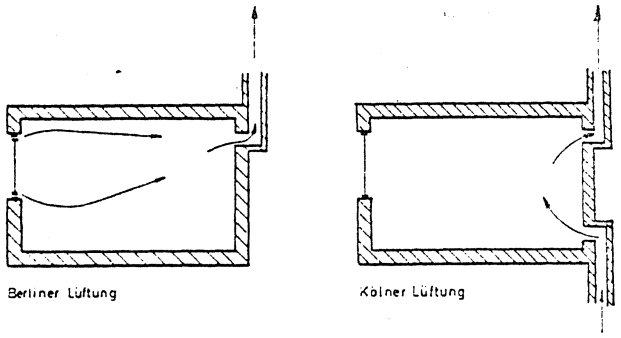

Bild 5. Übliche Schwerkraftlüftungen.

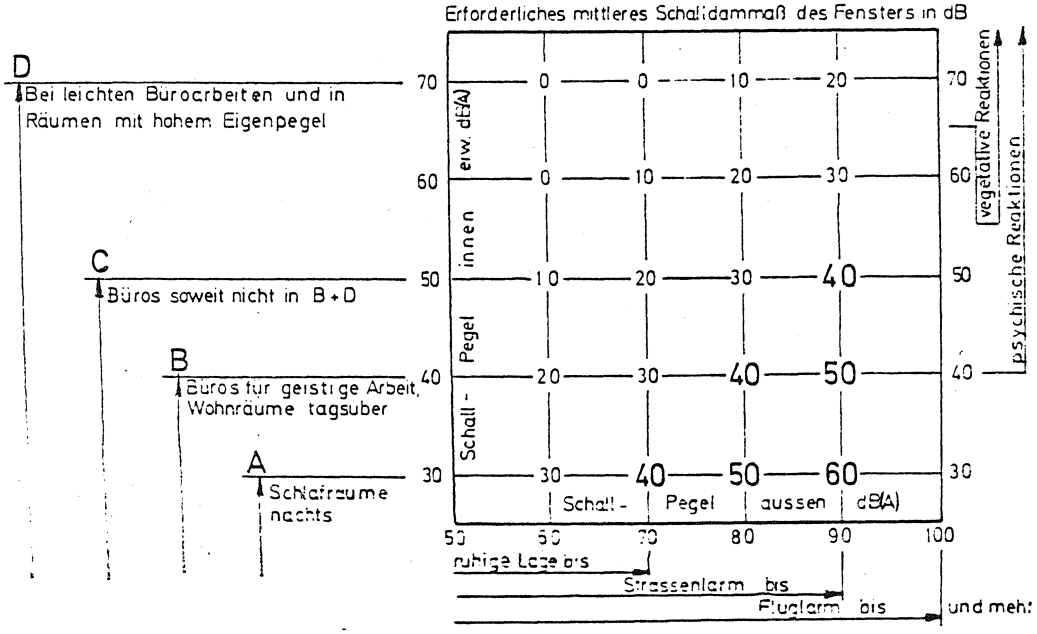

Bild 4. Diagramm zur Bestimmung des Fensterschalldämmwertes.

In solchen Fällen hilft die Kölner Lüftung schon erheblich weiter. Bei dieser wird bekanntlich neben der Abluft über Dach noch eine gesonderte Zuluftleitung, welche von unten kommt, in den Raum geführt. Durch dieses System ergibt sich bei einem gegebenen Temperaturgefälle ein gesicherter Luftwechsel.

Bei kleinen Räumen, z. B. Toiletten, Bädern und auch Küchen, ist es durchaus praktikabel, eine derartige Lüftungsmöglichkeit anzuwenden. Die Anforderungen an die Luftführungen sind in diesen Fällen meistens außerordentlich gering. Wichtig ist meist nur, daß eine Mindestluftwechselrate erreicht wird. Außerdem ist nicht damit zu rechnen, daß sich Menschen für längere Zeit in derartigen Räumen aufhalten oder gar dort schlafen müssen.

Sind die Räume aber größer, halten sich Menschen dort länger auf, oder wird in diesen Räumen geschlafen, dann ist die Kölner Lüftung nicht immer ausreichend. Das gilt vor allen Dingen für den Sommer; dann ist das notwendige Temperaturgefälle nicht vorhanden, müssen die Fenster geschlossen bleiben und die Raumluftverhältnisse werden in kurzer Zeit unerträglich. Abhilfe läßt sich dadurch schaffen, daß entweder die Abluft oder die Zuluft motorisch unterstützt wird. Hierdurch wird eine gewisse Frischluftrate garantiert.

Aus bautechnischen Gründen ist es aber in den meisten Fällen außerordentlich schwierig, die Kanäle so zu führen, daß sie nicht nur an einer Wand liegen, d. h. daß somit eine komplette Verwirbelung und damit auch der komplette Austausch der Luft nicht garantiert ist.

Schalldämmende Lüftungsfenster

Seitens der Fensterindustrie hat man verschiedene Konstruktionen entwickelt, die als schalldämmende Lüftungsfenster auf den Markt gebracht werden. Es handelt sich hierbei meistens um Kastendoppelfenster, bei welchen unterhalb des Fensters ein Zuluftschalldämpfer und oberhalb des Fensters ein Abluftschalldämpfer angeordnet ist. Je nach Konstruktion wird in den Zuluftschalldämpfer oder in den Abluftschalldämpfer ein Gebläse eingebaut. Dieses sorgt dafür, daß zumindest in einer Richtung Luft motorisch eingeblasen oder abgesaugt wird (*Bild* 6).

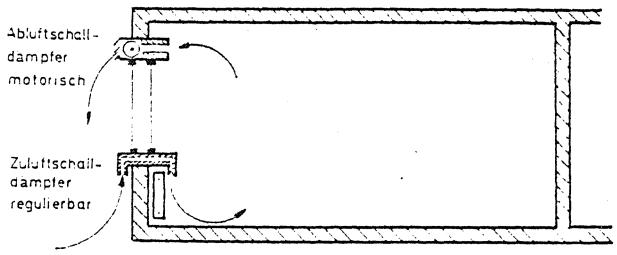

Bild 6. Schalldämmendes Lüftungsfenster.

Derartige Fenstersysteme sind recht kostspielig in der Anschaffung und auch in der Unterhaltung, einmal durch den einzelmotorischen Antrieb der Lüftungsgebläse, zum anderen durch die Notwendigkeit, diese Lüftungsgebläse sehr sorgfältig gegen Eigenschallabgabe zu isolieren. Würde man dies nicht tun, hätte man zwar durch das schalldämmende Lüftungsfenster die Außengeräusche abgeschirmt, nicht hingegen die Eigengeräusche des Fensters, sei es durch den Ventilator oder durch den Antriebsmotor. Hinzu kommt, daß die Filter bzw. Siebe solcher Fenster recht häufig gereinigt werden müssen.

Im Prinzip ist eine derartige Lösung als recht gut zu bezeichnen. Es wird hierbei der Versuch unternommen, die natürliche Fensterlüftung in ihrer Funktion zu ersetzen, d. h. man versucht, die Verbrauchtluft oberhalb des Fensters nach außen zu leiten und die Frischluft unten am Fenster hereinzulassen. Man erreicht somit den theoretischen Lüftungseffekt des konventionellen Fensters, d. h. des Kipp- oder Drehkippfensters oder auch des Schwing- oder Wendeflügelfensters.

Die konventionelle freie Fensterlüftung arbeitet aber hauptsächlich nach dem Prinzip der Schwerkraftlüftung und erreicht bei verhältnismäßig geringen Luftgeschwindigkeiten in kurzer Zeit eine komplette Luftspülung bzw. Lufterneuerung des Innenraumes.

Da die schalldämmenden Lüftungsfenster aber nicht nach dem Prinzip der Schwerkraftlüftung arbeiten, sondern mit Zwangslüftung, ist noch nicht gesagt, daß die gleiche effektive Lüftung, wie sie bei der freien Fensterlüftung erreicht wird, ebenfalls erreicht werden kann.

Die Praxis hat gezeigt, daß in vielen Fällen Zu- und Abluft in Fensternähe einen Kurzschluß bilden, da die Wurfweite der Zuluft nicht groß genug war. Die Wurfweite der Zuluft kann aber nicht unendlich gesteigert werden. Das ist darin begründet, daß nach den Erfahrungen — s. auch DIN 1946 — der Frischluftbedarf des Menschen je Stunde mit 20 bzw. 30 m³ als Minimum anzunehmen ist. Die Luftgeschwindigkeit darf 0,2 m/s nicht überschreiten.

Um die für die komplette Raumluftspülung notwendige Wurfweite zu erreichen, müßte die Luftgeschwindigkeit enorm vergrößert werden, oder es müßten große Öffnungen sowohl für die Zu- als auch für die Abluft vorhanden sein. Hier setzen aber die großen, fast unlösbaren Schwierigkeiten dieser Lüftungssysteme ein. Es darf keinesfalls außer acht gelassen werden, daß bei einer derartigen Zwangslüftung unvorgewärmte Luft in die Räume geblasen wird. Bei den meisten allgemein bekannten Systemen der schalldämmenden Lüftungsfenster wird eine spezielle Vorwärmung der eingeblasenen Luft nicht vorgenommen. Man bedenke, was dies in der Praxis bedeutet. Es sind z. B. genügend Fälle bekannt, bei denen in Großraumbüros mit Vollklima-Anlagen häufig Zugerscheinungen festgestellt wurden. Diese Erscheinungen hatten jedoch recht unangenehme Auswirkungen, zumindest in bezug auf das Arbeitsklima der einzelnen Betriebe.

Es scheint sich also praktisch eine schwer zu lösende Situation zu ergeben, wenn man aus den genannten Gründen auf den Einbau einer Teil- oder Vollklima-Anlage verzichten will oder muß.

Schallgedämpfte motorische Querlüftung

Sind die angedeuteten Probleme bereits bei der Planung des Gebäudes bekannt und mißt man ihnen auch die genügende Bedeutung bei, so lassen sie sich auch lösen. Es ist eine Reihe von Fällen aus der Praxis bekannt, in welchen man immer wieder den im wesentlichen gleichen Weg, wenn auch mit gewissen Abwandlungen, beschritten hat. Das System sieht wie folgt aus (*Bild 7*): Bei denjenigen Räumen, bei welchen ein besonderer Ruheschutz infolge besonderer Lärmgefährdung notwendig ist, also z. B. in Schlafzimmern, Kinderzimmern, Einzelbüros, werden — sofern dies notwendig ist — Kastendoppelfenster eingebaut, sonst dichte Einfachfenster mit schwereren Scheiben. Die Fenster werden so gestaltet, daß sie zu einer Intensivlüftung und zur Reinigung geöffnet werden können, jedoch im geschlossenen Zustand den Effekt des festverglasten Fensters mit sich brin-

gen. Unterhalb des Fensters, sei es nun zum Fenster gehörend oder im Bereich der Fensterbrüstung, wird ein entsprechend akustisch und lüftungstechnisch konstruierter Zuluftschalldämpfer eingebaut. Die Schalldämpfung muß zumindest ebenso groß sein wie die Schalldämpfung des darüber liegenden Fensters. Darüber hinaus muß der Dämpfer so ausgelegt sein, daß lüftungstechnisch die entsprechende Luftmenge bei Einhaltung der vorgeschriebenen notwendigen geringen Luftgeschwindigkeiten gewährleistet ist. Es ist weiterhin darauf zu achten, daß der einströmende Luftstrom gegen einen Konvektor oder Radiator geführt wird, damit in der kalten Jahreszeit die entsprechende Vorwärmung der Luft erreicht wird. Zur Regulierung der Zuluftmenge ist unbedingt ein Schieber vorzusehen.

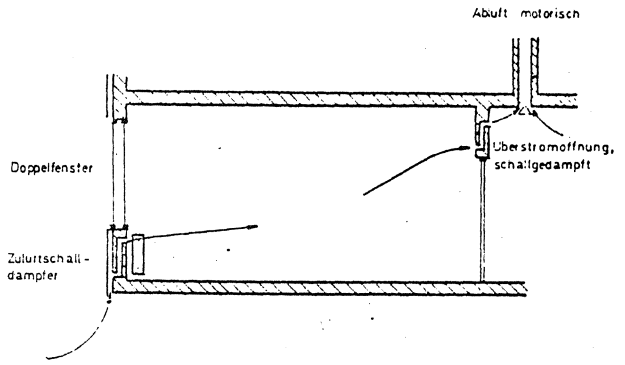

Bild 7. Schallgedämmte motorische Querlüftung.

Möglichst auf der gegenüberliegenden Seite des Raumes wird in Form der motorisch unterstützten sogenannten Berliner Lüftung die Luft abgesaugt, so daß im Raum selbst ein Unterdruck entsteht und durch diesen dann die Luft durch den in der Außenwand sitzenden Schalldämpfer eingesaugt wird.

Unter der Voraussetzung, daß es auch richtig ausgelegt ist, ergibt sich bei diesem System eine komplette Luftspülung des Raumes durch Querlüftung. Luftspülung bzw. Luftstrom ist regulierbar, und zwar nicht nur in bezug auf die tatsächliche Luftmenge, sondern auch in bezug auf die Temperatur.

Nun wäre es unsinnig, in jedem Raum einen gesonderten Abluftkanal anzuordnen. Das gesamte System würde dann zu kompliziert und kostspielig. Man wird also besser, z. B. im Wohnungsbau, eine Wohnung komplett zusammenfassen und die Abluft über einen einzelnen Kanal, welcher auch in eine Sammelschachtanlage für mehrere Wohnungen münden kann, absaugen. Am zweckmäßigsten geschieht dies im Bad, in der Toilette oder in der Küche, wobei man bei geschickter Anordnung Bad und Küche absaugungsmäßig zusammenfassen kann. Hierbei wird gleichzeitig die in Bädern, Toiletten und Küchen vorgeschriebene bzw. anzustrebende Luftwechselzahl erreicht.

Um die Gewähr für eine einwandfreie Funktion einer derartigen Anlage zu erhalten, sind eingehende Überlegungen notwendig, so z. B., wie bei Büros der einzelnen Räume zusammengefaßt werden können, ob dies geschoßweise oder abteilungsweise erfolgen soll, wie sich das Abstellen der Heizungen auf die einzelnen Räume auswirkt und dergleichen.

Als praktikabel hat sich erwiesen, daß die Überströmöffnungen zu den anderen Wohnungsräumen, z. B. von den Wohn- und Schlafzimmern, in den Flur bzw. ins Bad nicht nur durch unterschnittene Türen geführt werden, sondern daß es besser ist, eine gesonderte schallgedämpfte Überströmöffnung über der Tür anzuordnen. Der Effekt liegt zumindest darin, daß einerseits eine gewisse Schalldämmung von Raum zu Raum gewährleistet ist und andererseits die Abluftmenge dosiert wird.

Die Praxis hat gezeigt, daß bei geschlossenen Türen das Fenster geöffnet werden kann, ohne daß das gesamte Lüftungssystem gestört wird oder gar zusammenbricht [4].

Bei der Projektierung einer derartigen Anlage sind auch eine ganze Reihe von bisher noch nicht erwähnten Punkten zu beachten. Zum Beispiel müssen die Heizkörper, sofern sie mit Warmwasser beheizt werden, Ventile enthalten, die das komplette Schließen verhindern, damit im Falle der Nichtbenutzung der Wohnung oder einzelner Räume in der kalten Jahreszeit bei nicht abgestellter Lüftung das Einfrieren der Heizkörper verhindert wird. Die Zuluftführung durch den Schalldämpfer sollte außen abgeschirmt sein, um den Einfluß des auftreffenden Windes gering zu halten und um bei entsprechender Führung sogar während der warmen Jahreszeit einen gewissen Abkühlungseffekt zu erreichen. Ferner ist für eine Filterung zu sorgen, und es darf die notwendige Reinigungsmöglichkeit nicht außer acht gelassen werden.

Sofern sich die Zuluftschalldämpfer nicht im Bereich der Fensterbrüstung anordnen lassen, können sie senkrecht neben dem Fenster angeordnet werden und in einem unterhalb des Fensters liegenden Sammelschacht münden. Von diesem kann die Luft senkrecht nach unten direkt auf den Heizkörper strömen. Die Reguliereinrichtung kann getrennt über die beiden Schalldämpfer innerhalb dieses Systems untergebracht werden.

5. Fehlüberlegungen

Es sind in der Praxis eine Reihe von Fällen bekannt, bei denen besondere Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden berücksichtigt werden müssen, aber auf den Einbau einer Teil- oder Vollklima-Anlage verzichtet wird. Man hat dabei versucht, verschiedene Wege zu gehen, die nicht alle zum gewünschten Erfolg führten. Drei typische Beispiele seien genannt:

Fall I

Bei einem großen Schulneubau in der Nähe einer Stadtautobahn kam man nach langen Überlegungen zu folgendem Ergebnis: Grundsätzlich werden die Klassenfenster als Doppelfenster ausgebildet und auf der gegenüberliegenden Seite die Oberlichte mit Glasbausteinen ausgefacht. Um nun eine Zwangslüftung zu erreichen, wird man in die Glasbausteine der Oberlichte Schalldämpfer mit einer elektromotorischen Absaugung der Luft nach außen einsetzen. Auf der gegenüberliegenden Seite mit den Hauptklassenfenstern wird oberhalb des Fensters ein Zuluftschalldämpfer angeordnet. Der Zu- und der Abluftschalldämpfer werden mit elektromotorisch gesteuerten Klappen versehen. Durch Einschalten der Lüftung werden sowohl die beiden Verschlußklappen geöffnet als auch die elektromotorische Absaugung in Betrieb gesetzt. Bei Abschaltung schließen sich die Klappen, und der elektromotorische Antrieb wird ausgeschaltet (*Bild 8*).

Sicher wird dieses System zu gewissen Jahreszeiten, d. h. bei bestimmten Temperaturgefällen, auch einen Lüftungserfolg haben. In der warmen Jahreszeit ist aber zu erwarten, daß der Luftstrom direkt unter der Raumdecke auf dem ruhenden Luftpolster entlangfließt und somit keinen spürbaren Lüftungseffekt mit sich bringt. Der Luftstrom kann

sogar eine Luftwalze im unteren Teil des Raumes erzeugen. Während der kalten Jahreszeit dagegen ist zu erwarten, daß die oben einströmende Luft nach unten fällt und somit unangenehme Zugerscheinungen eintreten werden. Hierbei muß beachtet werden, daß die Forderung bestand, eine Frischluftrate von über 1000 m³/h zu erreichen.

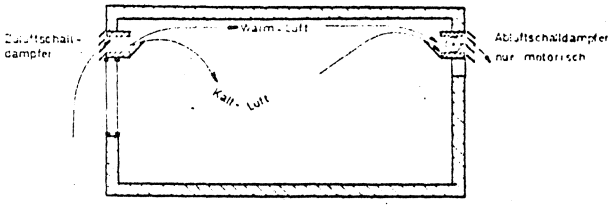

Bild 8. Fall I.

Alternative zu Fall I

Hätte man den Zuluftschalldämpfer unter das Fenster gesetzt, die Abluft nach oben über Dach geführt, wobei sie auch bei Bedarf hätte motorisch unterstützt werden können, wäre durch die Querluftströmung ein besserer Effekt erzielt worden. Jedenfalls wäre durch die Querlüftung die Luftspülung sichergestellt, und es hätte auch die unbedingt notwendige Vorwärmung der einströmenden Luft erreicht werden können (*Bild 9*).

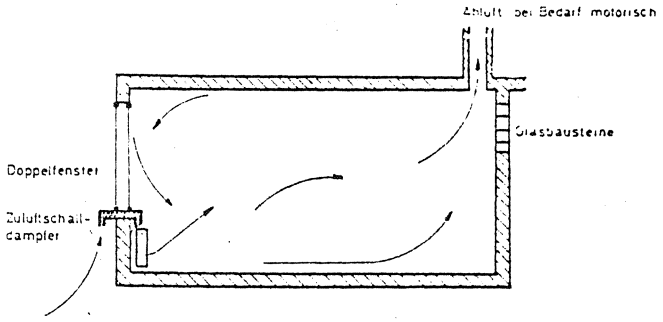

Bild 9. Alternative zu Fall I.

Fall II

Bei einer anderen, ebenfalls schallgefährdeten Schule plant man folgende Lösung (*Bild 10*): Beim Fenster wird ein Klappflügel oben angeordnet. Damit es nicht hereinregnen kann, wird vor den Klappflügel ein entsprechendes Lamellengitter gesetzt. Zur Erzielung einer Luftbewegung wird auf der Flurseite die Raumluft abgesaugt. Der zu erwartende Lüftungseffekt ist sehr fraglich. Er wird ähnlich wie im Fall I sein. Schlimmer ist, daß durch das Öffnen des Klappflügels jeglicher Schallschutz gegenüber den Straßenverkehrsgeräuschen verhindert wird.

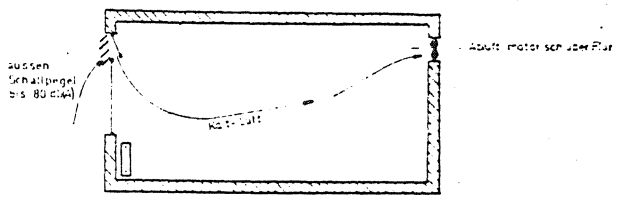

Bild 10. Fall II.

Fall III

Hier handelt es sich um das Konferenzzimmer eines mittelgroßen, direkt an einer Verkehrsstraße gelegenen Verwaltungsgebäudes. Der Konferenzraum ist beidseitig durch Fenster belichtet und hat zur Abschirmung hausinterner Geräusche besonders dicht schließende Türen. Um nun den entsprechend notwendigen Luftwechsel zu erreichen, baute man oberhalb der Fenster auf beiden Seiten elektromotorische Absaugvorrichtungen ein und ließ die Frage, wo die Zuluft herkommen soll, völlig offen (*Bild 11*).

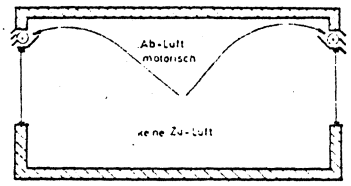

Bild 11. Fall III.

Kommentar zu den Fällen I bis III

In Fall I — also mit Zuluft- und Abluftschalldämpfern oben unter der Decke — wäre es kostenmäßig überhaupt kein Problem gewesen, den Zuluftschalldämpfer nach unten zu versetzen. Der hierdurch gegebene bessere Lüftungseffekt wurde bereits erwähnt.

Die elektrische Steuerung der Lüftungsklappen bzw. des Abluftgebläses hätte so vorgenommen werden müssen, daß sich bei Stellung 1 des Schalters nur die Lüftungsklappen geöffnet hätten. Während einer langen Zeit des Jahres hätte dann die gesamte Anlage als Schwerkraftlüftung gearbeitet. Nur bei Bedarf, insbesondere in der warmen Jahreszeit, wäre zusätzlich die Absaugevorrichtung in Betrieb genommen worden. Hierdurch hätte sich ein Teil der Unterhaltungs- und Wartungskosten einsparen lassen.

Im Fall II kann das gewählte System nicht funktionieren. Es ist hier nicht nur eine rein lüftungstechnische Frage, sondern auch ein Problem der Akustik. An der Stelle, an welcher die Schule errichtet wird, wurden jetzt schon Schallpegel von 70 bis 80 dB(A) gemessen. Durch das vorgesehene Öffnen der Fenster wird entgegen allen bekannten Grundsätzen der Störpegel im Raum zu hoch, somit die Silbenverständlichkeit reduziert und der Informationsgehalt des Vortrages der Lehrpersonen in Frage gestellt. Der verhältnismäßig hohe Kostenaufwand der Fenster hätte bei Vereinfachung der Konstruktion die Anordnung eines Zuluftschalldämpfers zugelassen. Zum Fall III ist nicht viel zu sagen, denn hier handelt es sich offensichtlich um Gedankenlosigkeit.

6. Korrigierende Maßnahmen

In vielen Fällen hat es sich als notwendig erwiesen, nachträglich korrigierende Schallschutzmaßnahmen zu ergreifen. Der Grund hierfür liegt meistens in einer Änderung der Verkehrsführung von Straßen. Dann müssen entweder die vorhandenen Fenster überholt werden, indem man zusätzliche Dichtungen einbaut und gegebenenfalls die Glasscheiben durch dickere ersetzt, oder man muß die Fenster gegen neue schalldämmende Fenster austauschen.

Ganz gleich, welche Fensterkonstruktion man verwendet, ob die vorhandene bestehen bleibt oder durch eine neue ersetzt wird, die Lüftungsfrage tritt sofort als neues Problem auf. Gerade in älteren Gebäuden sind meistens noch

eine Reihe von nicht benutzten Schornsteinen vorhanden. Man sollte überlegen, ob man diese nicht auch für die Lüftung mit verwenden kann. Der Einbau eines Abluftventilators ist meistens nicht sehr kompliziert. Wichtig ist jedoch, daß das Problem der Zuluft auch entsprechend gelöst wird. Es kann hierbei auch ohne weiteres unter das Fenster ein horizontal liegender Zuluftschalldämpfer angeordnet werden. Die gesamte Bauhöhe könnte bei etwa 10 cm liegen, so daß sich praktisch keine großen baulichen Veränderungen ergeben. Lediglich müßte im Bereich der Brüstung ein Stein abgetragen bzw. das Fenster um diese Höhe gekürzt werden.

Unter Beachtung der beschriebenen Forderungen für schallgedämmte, motorische Querlüftung läßt sich in solchen Gebäuden häufig auch ein brauchbares Ergebnis erzielen. Sollte die Anwendung dieses Systems aus irgendwelchen Gründen nicht möglich sein, z. B. wenn keine Schornsteine vorhanden sind oder die Luftführungswege von den einzelnen Räumen zu den Abluftschornsteinen zu lang würden, bleibt immer noch die Möglichkeit, ein schalldämmendes Lüftungsfenster einzubauen.

Um zu richtigen Lösungen zu kommen, ist unbedingt ein Studium der vorhandenen Verhältnisse notwendig. Erst dann kann man beurteilen und entscheiden, welche Änderungen unbedingt vorgenommen werden müssen.

7. Schlußwort

Vorstehend konnte nur eine Reihe von Problemen aufgezeigt werden. Es war in diesem Rahmen nicht möglich, fertige Lösungen zu präsentieren. Es sind sicher auch noch viele Fragen offen geblieben, und einzelne Punkte werden noch diskutiert werden müssen.

Der Ausspruch von *Prof. Roedler,* Direktor des Bundesgesundheitsamtes Berlin, soll über diesem Referat stehen. Er lautet: „Enge Zusammenarbeit von Architekt, Klima-Ingenieur und Akustiker ist Voraussetzung für eine gute Lösung des Aufgabenkomplexes Raumklima in Bauten der Zukunft" [5].

Schrifttum

[1] *Oeser, K.:* Vortrag auf der Tagung „Wohnung und Gesundheit", 2./3. Dezember 1969, Baden-Baden.

[2] Messungen des Staatlichen Materialprüfungsamtes Nordrhein-Westfalen, Dortmund, und der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin.
Außerdem: *Seifert:* Z. Moderne Holzverarbeitung, 11 (1966).

[3] *Mitter, I. C.:* Z. Wohnungsmedizin, 1 (1969).

[4] Das hier geschilderte System der schallgedämmten, motorischen Querbelüftung wurde von *A. Carroux,* öff. bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schall-, Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, Kloppenheim/Bad Vilbel, entworfen, projektiert, überwacht und abgenommen.

[5] *Roedler, F.:* Die Gestaltung des Raumklimas unter Berücksichtigung zunehmender Immissionen. Heizung, Lüftung, Haustechnik, 19 (1968).

Über gasfachliche Erweiterungen des Mollier-i,x-Diagramms

Prof. Dr. *F. Schuster,* Essen

(Fortsetzung und Schluß aus Heft 9/1972)

II. Anwendung auf Verbrennungsgase

Der Grundgedanke des Mollier-*i,x*-Diagramms, angewendet auf Verbrennungsgase von Brennstoffen, hier insbesondere von Brenngasen, bringt zunächst zwei grundlegende Änderungen:

1. werden als „Trägergas" der Feuchtigkeit (Feuchte) anstelle der trockenen Luft die trocken angenommenen Verbrennungsgase eingesetzt

   und

2. wird als Mengeneinheit des jeweiligen Trägergases nicht die Masseneinheit Kilogramm (kg), sondern die auf Volumengrundlage beruhende Einheit m³ (Normzustand) benutzt.

Anmerkung: In den Ausführungen dieses Beitrages werden folgende Zeichen benutzt:
BG = Brenngas
VG = Verbrennungsgas feucht
TR = Trägergas (= Verbrennungsgas trocken)

Eine allgemeine Berechnungsgleichung für die Enthalpie (früher „fühlbarer Wärmeinhalt") der Verbrennungsgase, hier wegen der klassischen Bezeichnung des Mollier-Diagramms noch mit dem Zeichen *i* (sonst jetzt *h* — siehe DIN 1345 Januar 1972) lautet:

$$i_{VG} = c_{TR} \cdot t + c_D \cdot \frac{x}{1000} \cdot t + r \cdot \frac{x}{1000} \text{ in kcal/m}^3 \text{ TR (Normzustand)} \quad (1)$$

worin bedeuten:

c_{TR} mittlere spezifische Wärmekapazität (früher mittlere spezifische Wärme) des Trägergases zwischen 0 und t °C in kcal/m³ grd = (Normzustand)

c_D mittlere spezifische Wärmekapazität des Wasserdampfes in kcal/kg grd

x Feuchtigkeitsgehalt (Feuchte) des Trägergases (Normzustand) in g Wasser/m³

t Temperatur in °C

r Verdampfungswärme des Wassers bei 0 °C in kcal/kg. (1 kcal/m³ ≈ 4,2 kJ/m³, 1 kcal/m³ grd ≈ 4,2 kJ/m³ K 1 kcal/kg ≈ 4,2 kJ/kg)

Soll die Enthalpie auf 1 m³ (Normzustand) Brenngas BR bezogen werden, muß mit der Trägergasmenge aus 1 m³ BR multipliziert werden:

$I_{VG} = i_{VG} \cdot v_{TR}$ in kcal/m³ (Normzustand) BR

I_{VG} Enthalpie der Verbrennungsgasmenge feucht in kcal/m³ (Normzustand) BR

v_{TR} Trägergasmenge (Verbrennungsgasmenge trocken) in m³/m³ BR

i_{VG} aus Gl. (1)