

Objektivierung von subjektiv ermittelten Verbesserungen des Schallschutzes von Fenstern

E. Buchta, K.-W. Hirsch (Institut für Lärmschutz, Düsseldorf)

P.D. Schomer (Construction Engineering Research Laboratory CERL, Champaign USA)

Einleitung und Ziel der Untersuchung

Schallschutzmaßnahmen und deren Wirkung sind im üblichen Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz umfangreich untersucht und in DIN-Normen beschrieben.

Diese Normen sind jedoch für tieffrequente Knallgeräusche wie Spreng- und Kanonenknalle wegen des tieffrequenten Spektrums nicht anwendbar. Die Hauptenergie dieser Knallgeräusche liegt im tiefen Frequenzbereich bei 30 Hz bis 50 Hz und reicht sogar häufig bis zu 10 Hz hinunter. Um die Anlieger gegenüber diesen tiefen Frequenzen durch passive Schallschutzmaßnahmen wirkungsvoller zu schützen, wurde im Auftrage des Bundesministers der Finanzen ein Pilotprojekt /1/ durchgeführt, geeignete Fenster dafür zu untersuchen. Die Ergebnisse /1/ zeigen, daß sich bei fast 90 % der 170 Befragten in 100 Häusern die Lebensqualität durch den Einbau neuer Fenster mit Spezialscheiben „ziemlich“ bis „außerordentlich“ stark erhöht hat (s. Abb. 1). Die Dämmleistung wurde von 90 % der Befragten als „gut bis sehr gut“ bezeichnet und der Einbau der neuen Fenster von 85 % der Befragten als „notwendig“ gehalten (s. Abb. 2 und Abb. 3).

In dieser Untersuchung nahmen hauptsächlich Anlieger teil, denen die neuen Schallschutzfenster kostenlos eingebaut und überlassen wurden. Diese kostenlose Überlassung der Fenster könnte einen Einfluß auf die Beurteilung der Verbesserung haben (sog. Dankbarkeitseffekt). Deshalb wurden Vergleichstests nach Schomer /2/ in zwei nebeneinanderstehenden Häusern (ein Haus mit alten und ein Haus mit neuen Fenstern) mit Versuchspersonen (Anlieger aus Grafenwöhr), in Grafenwöhr durchgeführt, die keine Fenster erhalten haben.

Die Untersuchung erfolgte durch einfache Ja-Nein-Entscheidungen über die Lästigkeit zwischen jeweils zwei dargebotenen Geräuschen (Paar-Vergleiche). Bei den Geräuschepaaren war jeweils ein Schall ein Knall, der andere ein synthetisch erzeugtes Vergleichsgeräusch. Dabei wurden die Versuchspersonen in zwei bewohnten Häusern der gleichen Straße jeweils im Wohnzimmer platziert. Im ersten Teil der Untersuchung hatte Haus Nr. 1 alte Fenster und Haus Nr. 2 neue Fenster. Im zweiten Teil der Untersuchung erhielt auch Haus Nr. 1 neue Fenster und Haus Nr. 2 blieb unverändert. Die dargebotenen Schallereignisse wurden durch unterschiedliche Explosionsknalle von 2,0 kg und 0,5 kg TNT-Sprengungen in 1,2 km Entfernung erzeugt mit einem Pegel von 120 dB bzw. 112 dB Spitzenpegel außen vor dem Fenster. Zum Vergleich wurden von

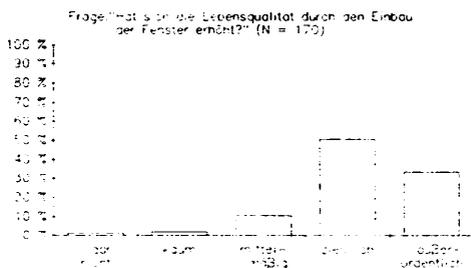


Abb. 1: Erhöhung der Lebensqualität durch die neuen Fenster

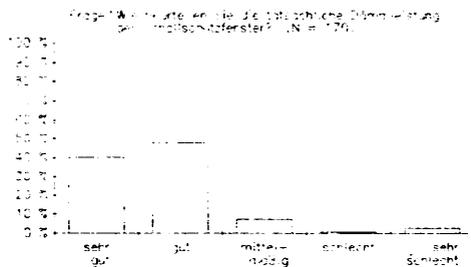


Abb. 2: Beurteilung der tatsächlichen Dämmleistung der neuen Fenster

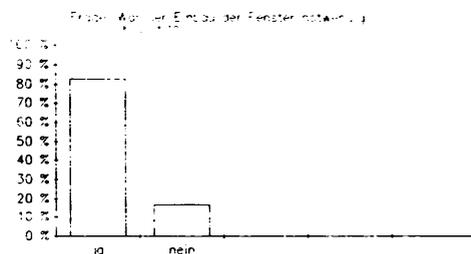


Abb. 3: Notwendigkeit des Einbaus der neuen Fenster

Lautsprechern in dem Wohnraum Vergleichsgeräusche aus weißem Bandpaßrauschen von 200 Hz - 1500 Hz dargeboten. Die Vergleichsgeräusche hatten einen Zeitverlauf des Schalldruckpegels, der dem der Knallgeräusche angenähert war (s. Abb. 4). Jedem hohen („high“) Knallgeräusch (120 dB) wurden sechs jeweils um 4 dB sich unterscheidende Vergleichsgeräusche zugeordnet und jedem niedrigeren („low“) Knallgeräusch (112 dB) wurden fünf um 5 dB sich unterscheidende Vergleichsgeräusche gegenübergestellt. Die Pegel der Vergleichsgeräusche wurden so ausbalanciert, daß 50 % über dem Knallgeräusch und 50 % darunter lagen.

Messungen

Die Außenschallpegel wurden 5 cm bzw. 5 mm vor den Fensterscheiben der beiden Wohnzimmer aufgenommen. Die Innenmikrofonstandorte sind in Abb. 5 dargestellt. Die Mikrophone standen zwischen den sitzenden Versuchspersonen in deren Ohrhöhe. Außerdem wurde die Schalldämmung der alten und neuen Fenster durch das R_w -Maß nach DIN 52210, erweitert durch die Angabe von Pegeldifferenzen im tiefen Frequenzbereich, bestimmt (Abb. 6).

Versuchsablauf

Die Versuche wurden täglich mit anderen Versuchspersonen (VP) durchgeführt, die sich vor dem Test im benachbarten Haus gesammelt haben und instruiert wurden. Die Testperiode begann mit ein paar Übungsvergleichen. Die VP sollten sich entscheiden, was sie mehr störte oder belästigte, das erste oder das zweite Geräusch in dem dargebotenen Geräuschepaar. Außerdem sollten sie auf einer 5-stelligen Skala angeben, wie schwierig es für sie war, sich zu entscheiden, welches dieser beiden Geräusche mehr störend war. Jedes Geräuschdarbietungspaar bestand aus vier Zeitabschnitten:

- (1) Hinhören auf das erste Geräusch,
- (2) kurze Ruhepause ohne Geräusch,
- (3) Hinhören auf das zweite Geräusch,
- (4) Ruhepause für die Entscheidung, welches Geräusch störender war und Kennzeichnung im Fragebogen.

Jedes Geräuschdarbietungspaar dauerte insgesamt ca. 10 Sekunden. Die dargebotenen Geräusche wurden statistisch verteilt angeboten hinsichtlich

1. des Knallpegels,
2. des Vergleichsgeräuschpegels,
3. der Erstdarbietung (Knall- oder Kontrollgeräusch zuerst) und
4. der Reihenfolge der Darbietungen.

Die Knallgeräusche der Sprengungen („blast“) hatten zwei Pegel: „high“ und „low“. Die höheren Sprengknalle („high blast“) wurden mit sechs unterschiedlichen Pegeln der Vergleichsgeräusche verglichen und die niedrigeren Sprengknalle („low blast“) mit 5 unterschiedlichen Pegeln der Vergleichsgeräusche, so daß insgesamt 11 unterschiedliche Geräuschdarbietungspaare verwendet wurden. Jedes Geräuschdarbietungspaar bestand aus einem Sprengknall („blast“) und einem computergenerierten Vergleichssignal. Während der Testsitzung mußte jede Versuchsperson jedes Signalpaar viermal beurteilen; zweimal wurde der blast zuerst und zweimal das Vergleichsgeräusch als erstes Signal dargeboten. Insgesamt hatte jede Versuchsperson 44 mal während einer Sitzung das Urteil abzugeben. Diese Daten wurden zu 11 Signalgruppen zusammengefaßt. Jede der 11 Gruppen beinhaltet alle möglichen Signalaare und zwar in statistisch verteilter Reihenfolge. Bei der Versuchsdurchführung wurde darauf geachtet, daß die Pegel der Vergleichsgeräusche so ausgelegt wurden, daß der 50 % - Wert in der Mitte des Bereiches lag und kaum Werte für 0 oder 100 % auftraten.

Ergebnisse

gemessener Schallpegel CSEL (in dB(C)) in der Situation Haus 1 alte Fenster, Haus 2 neue Fenster							
high blast				low blast			
Haus 1		Haus 2		Haus 1		Haus 2	
außen	innen	außen	innen	außen	innen	außen	innen
96,1	80,9	99,3	71,1	90,5	74,3	92,5	67,0
Δ CSEL = 15,2		Δ CSEL = 27,6		Δ CSEL = 16,2		Δ CSEL = 25,5	
$\Delta\Delta$ CSEL = 12,4				$\Delta\Delta$ CSEL = 9,3			

Tab. 1: gemessene mittlere Einzelschußpegel CSEL in dB(C) und die zur Auswertung gebildeten Pegeldifferenzen (Haus 1 alte Fenster)

Percentil(50%)-Pegel ASEL (in dB(A)) in der Situation Haus 1 alte Fenster, Haus 2 neue Fenster							
high blast				low blast			
Haus 1		Haus 2		Haus 1		Haus 2	
außen	innen	außen	innen	außen	innen	außen	innen
-	77,5	-	51,8	-	64,2	-	-
$\Delta\Delta$ ASEL = 25,7				-			

Tab. 2: Percentil(50%)-Pegel ASEL in dB(A) und die zur Auswertung gebildeten Pegeldifferenzen (Haus 1 alte Fenster)

gemessener Schallpegel CSEL (in dB(C)) in der Situation Haus 1 neue Fenster, Haus 2 neue Fenster							
high blast				low blast			
Haus 1		Haus 2		Haus 1		Haus 2	
außen	innen	außen	innen	außen	innen	außen	innen
97,3	74,4	98,7	71,0	93,9	70,3	94,5	71,0
Δ CSEL = 22,9		Δ CSEL = 27,7		Δ CSEL = 23,6		Δ CSEL = 23,5	
$\Delta\Delta$ CSEL = 4,8				$\Delta\Delta$ CSEL = -0,1			

Tab. 3: gemessene mittlere Einzelschußpegel CSEL in dB(C) und die zur Auswertung gebildeten Pegeldifferenzen (Haus 1 neue Fenster)

Percentil(50%)-Pegel ASEL (in dB(A)) in der Situation Haus 1 neue Fenster, Haus 2 neue Fenster							
high blast				low blast			
Haus 1		Haus 2		Haus 1		Haus 2	
außen	innen	außen	innen	außen	innen	außen	innen
-	64,6	-	53,8	-	51,7	-	45,8
$\Delta\Delta$ ASEL = 10,8				$\Delta\Delta$ ASEL = 5,9			

Tab. 4: Percentil(50%)-Pegel ASEL in dB(A) und die zur Auswertung gebildeten Pegeldifferenzen (Haus 1 neue Fenster)

Zur Charakterisierung der physikalisch meßbaren Dämmung und deren Verbesserung wurde der Schallpegel CSEL (C-bewerteter Sound Exposure Level) verwendet. Der CSEL wurde jeweils außen vor den Fenstern und innen an den in Abb. 5 eingetragenen Stellen gemessen. Zur Beurteilung der Lästigkeit durch die Versuchspersonen wird der 50 %-Percentilpegel ASEL des Vergleichsgeräusches verwendet. Dieser ASEL entspricht statistisch der Situation, daß die Hälfte der Versuchspersonen das Vergleichsgeräusch lästiger und die andere Hälfte es als weniger lästig empfindet als den zugeordneten leisen Knall (low blast) bzw. lauten Knall (high blast).

Tab. 1 und Tab. 2 enthalten Mittelwerte der Versuche in der Situation Haus 1 alte Fenster, Haus 2 neue Fenster. Die Meßwerte in Tab. 1 sind folgendermaßen zu interpretieren. Bei einer „high“ Sprengung beispielsweise wurde bei Haus 1 (alte Fenster) außen ein Pegel von 96,1 dB(C), innen ein Pegel von 80,9 dB(C) gemessen; dies ergibt einen Dämmwert von Δ CSEL = 15,2 dB(C). Der analoge Wert in Haus 2 beträgt 27,6 dB(C). Daraus folgt, daß das in Haus 2 eingebaute neue Fenster um $\Delta\Delta$ CSEL = 12,4 dB(C) in dem objektiv gemessenen L_{Cx} dem alten Fenster überlegen ist. Bei einer „low“ Sprengung sind dies 9,2 dB(C).

Von den Versuchspersonen wurden in der gleichen Situation die entsprechenden Pegel mit 77,5 dB(A) bzw. 51,8 dB(A) beurteilt (s. Tab. 2). Der Unterschied in dieser subjektiven Beurteilung beträgt also $\Delta\Delta$ ASEL = 25,7 dB(A) bei der „high“-Sprengung. Das subjektive Maß ASEL ergibt eine mehr als doppelt so hohe Dämmung als das objektive Maß CSEL. Bei der „low“-Sprengung sind die Ergebnisse unzuverlässig für Haus 2. Die gleiche Analyse nach Einbau von neuen Fenstern in Haus 1 ist in den Tab. 3 und 4 entsprechend den Tab. 1 und 2 zusammengefaßt. Vergleicht man nun beide Situationen miteinander, erhält man folgendes Ergebnis:

Durch den Einbau der neuen Fenster in Haus 1 wurde die CSEL-Pegeldifferenz um 7,7 dB(C) („high“) bzw. 7,4 dB(C) („low“) verbessert. Von den Versuchspersonen wurde die Verbesserung mit 12,9 dB(A) („high“) bzw. 12,5 dB(A) („low“) beurteilt. Auch hier zeigt sich, daß die subjektiv empfundene Dämmungsverbesserung nahezu doppelt so hoch ausfällt wie die objektiv gemessene Verbesserung. Bei der Kontrollgruppe in Haus 2 ergibt sich eine CSEL-Pegeldifferenz von -0,1 dB(C) („high“) bzw. 2 dB(C) („low“). Mit -2 dB(A) verschlechterte

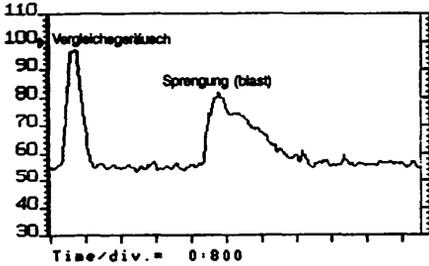


Abb. 4

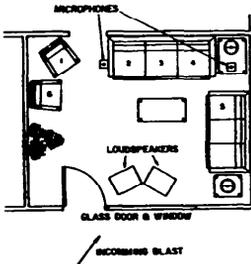


Abb. 5

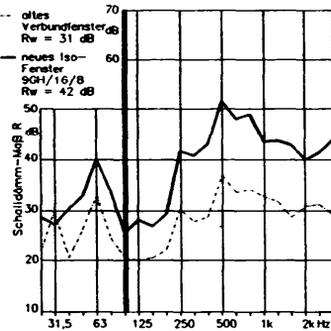


Abb. 6

sich die Beurteilung nur geringfügig. Aus diesem Vergleich folgt, daß eine Verbesserung der Dämmung um Δ CSEL von ca. 7,5 dB(C) einer subjektiv beurteilte Verbesserung von Δ ASEL von ca. 12,5 dB(A) entspricht.

Diskussion

In Abb. 7 sind die korrespondierenden Werte in den verschiedenen Situationen graphisch gegenübergestellt. Über dem gemessenen Vergleichsgeräuschpegel ASEL ist als der gleichstörnd beurteilte Innen-Sprengknall CSEL aufgetragen. Im unteren Pegelbereich ist die Streuung der Meßwerte größer, bedingt dadurch, daß bei sehr niedrigen Pegeln die Beurteilung der Lästigkeit durch die Versuchspersonen schwieriger war.

Die Regressionsgerade zeigt, daß einer Verbesserung der Fensterdämmung im Mittel um 1 dB(C) objektiv eine Minderung der Störung um 2,5 dB(A) subjektiv entspricht. Da die Hauptenergie der Sprengknalle bei 30 - 40 Hz, die des Vergleichsgeräusches bei 200 - 2.000 Hz liegt, erscheint dies in Anbetracht der Kurven gleicher Lautstärke verständlich. Denn im mittleren Frequenzbereich verlaufen die Kurven flach im 10 - Phon-Abstand, während im Bereich von 30 - 40 Hz bei den hier aufgetretenen Pegeln der Abstand der Phon-Kurven nur noch 5 Phon beträgt. Beispielsweise entspricht bei einem Schmalbandgeräusch bei 32 Hz eine Pegelstufe von 62 dB bei 72 dB einer Lautstärkesteigerung von 20 Phon.

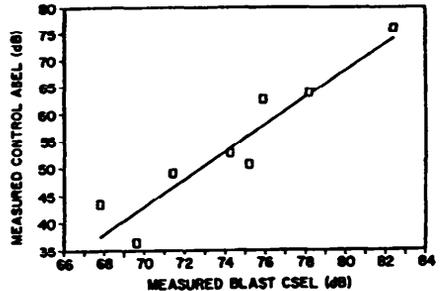


Abb. 7

Schlußfolgerung

Aus der Untersuchung folgt, daß die Pegelminderung durch die Fenster mit Spezielscheiben eine subjektiv höher empfundene Minderung bewirkt als es die objektiv gemessenen Pegelwerte zeigen. Diese subjektiv empfundene Minderung ist akustisch bedingt und nicht auf Moderatoren wie z.B. den sog. „Dankbarkeitseffekt“ zurückzuführen.

/1/ Buchta, E.: „Pilotprojekt für passive Schallschutzmaßnahmen am Truppenübungsplatz Grafenwöhr“ im Auftrag des Bundesministers der Finanzen 1988
 /2/ Schomer, P.D., Averbuch, A.: „Indoor Human Response to Blast Sounds Which Generates Rattles“ U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory Champaign, Illinois 1989