

Schalltechnische Probleme beim Aufstellen von Waschmaschinen in Wohnhäusern

Kühn + Blickle, Institut für Lärmschutz, Unterägeri ZG

In den folgenden Ausführungen wird auf die Problematik der auf einer frei gespannten Decke aufgelagerten Waschmaschine näher eingegangen. Insbesondere interessiert hier die vom Waschmaschinenaufstellungsort in die benachbarten Wohnräume via Körperschall übertragenen Störgeräusche. Weiter sollen einige Möglichkeiten zur Reduzierung der übertragenen Waschmaschinenbetriebsgeräusche aufgezeigt werden. Dazu wird zusammenfassend ausgeführt, dass durch die Lagerung der Waschmaschinen auf geeignet abgestimmten Gummiisolatoren die übertragenen Betriebsgeräusche gesenkt werden können.

Problemstellung

In den letzten Jahren hat sich der Trend, Waschmaschinen und Wäschetrockner innerhalb der eigenen Wohnung zu betreiben, immer mehr durchgesetzt. Vor wenigen Jahrzehnten war es noch üblich, die zum Waschen erforderlichen Maschinen als Gemeinschaftsanlage im Kellergeschoss aufzustellen. Dass durch die neuen Waschgewohnheiten zusätzliche technische Geräuschquellen vom Keller in die oberen Stockwerke verlagert werden, ist den meisten Bewohnern bekannt. Weniger bekannt sind dabei die Ursachen und das Ausmass der auftretenden akustischen Störungen und deren Beseitigung.

Ursache und Übertragung von Waschmaschinenbetriebsgeräuschen

Grundsätzlich ist bei der Übertragung von Waschmaschinengeräuschen zwischen Luft- und Körperschall zu unterscheiden. Während das luftschalltechnische Problem die von der Waschmaschine direkt in den Raum abgestrahlten Betriebsgeräusche beschreibt, werden durch den körperschalltechnischen Problembereich die direkt in den Aufstellungsort induzierten und im Baukörper weitergeleiteten Schwingungen gekennzeichnet. Auf das erste Problem soll hier nicht weiter eingegangen werden, da es genügend bekannt ist und nur in vereinzelt Fällen zu Störungen Anlass gibt.

Die von der Waschmaschine ausgehenden und in den Aufstellungsort bzw. Unterlage übertragenen Körperschallschwingungen können im wesentlichen auf zwei Quellen zurückgeführt werden. Die erste Körperschallquelle wird durch die mit Wäsche gefüllte Trommel gebildet, welche durch die beim Rotieren entstehende Zentrifugalkraft eindeutig beschrieben werden kann. Diese Zentrifugalkraft wirkt dabei sinusförmig auf die Unterlage und regt diese zu Körper-

schallschwingungen an. Die entstehende Kraftamplitude hängt von der Tourenzahl, dem Radius r der Wäschetrommel und von der Massenunwucht m , bedingt durch die in der Trommel ungleichmässig verteilte Wäsche, ab ($F = mr\omega^2$ [N]).

Bei den üblich vorkommenden Tourenzahlen beim Schleudern von 600 bis 900 Umdrehungen je Minute ergeben sich Kraftamplituden in der Grössenordnung von 1000 bis 2000 N. Bei starrer Aufhängung der Wäschetrommel am Maschinenrahmen wirken die dynamischen Kräfte in voller Stärke auf die Unterlage, während diese bei elastischer Lagerung der Wäschetrommel in mehr oder weniger abgeschwächter Form übertragen werden. Eine Reihe von schwingungstechnischen Untersuchungen, die auf einer frei gespannten Stahlbetondecke gemacht wurden, haben gezeigt, dass die durch die Zentrifugalkraft erzeugten Schwingungsamplituden Werte zwischen 110 dB und 120 dB annehmen können. Diese Werte liegen deutlich über der für Massivbauten zulässigen Grenze von $L_v \leq 106$ dB.

Im nachfolgenden Diagramm sind einige wesentliche Versuchsergebnisse zusammengestellt, die an einer auf einer 160 mm dicken Stahlbetondecke gelagerten Waschmaschine mit starrer Trommelaufhängung (Trommelinhalt: 60 dm³) gewonnen wurden. Damit kommt der Einfluss der Drehzahl und der Massenunwucht m auf den Schwingungspegel L_v in der Umgebung des Maschinenaufstellungsortes deutlich zum Vorschein.

Die Frage liegt nun nahe, wie sich eine leichtere Deckenkonstruktion unter der Einwirkung der beim Schleudern auftretenden Zentrifugalkräfte verhalten würde. Entsprechende Berechnungen, unter der Annahme einer Holzbalkendecke, ergeben, dass die beim Schleudern (Trommel starr aufgehängt) auftretenden Schwingungspegel unzulässig hoch ausfallen würden und mit ausgeprägter Rissbildung in der Konstruktion zu rechnen wäre.

In diesem Zusammenhang ist noch zu erwähnen, dass die beim Schleudern erzeugten und auf den Baukörper übertragenen Schwingungen unterhalb 16–20 Hz liegen und dabei vom Menschen kaum mehr hörbar sind. Solche tieffrequenten Schwingungen können nur noch als Erschütterung wahrgenommen werden.

Die heutigen im Wohnungsbau anzutreffenden Waschmaschinenkonstruktionen weisen normalerweise Trommeln auf, die über Federn mit sehr kleinen Federkonstanten am Maschinenrahmen elastisch aufgehängt sind. Durch geeignete Wahl der verwendeten Federn können die auf die Unterlage einwirkenden Zentrifugal- bzw. Wechselkräfte ausreichend gemindert werden. Die mit solchen Federaufhängungen erreichbaren Schwingungspegelminderungen liegen in der Grössenordnung von ca. 25 dB. Diese relativ hohe Minderung gilt allerdings nur für Frequenzen im Bereich der Schleuderdrehzahl. Oberhalb der Schleuderdrehzahl nimmt die Schwingungs- bzw. Körperschalldämmung wieder ab, um dann im Bereich der Eigenfrequenz f_0 der Federaufhängung (f_0 ca. 50–70 Hz) ein Minimum zu erreichen.

Die zweite, für die Abschätzung der subjektiven Störung von Waschmaschinengeräuschen weit wichtigere Körperschallquelle stellt der elektrische Antriebsmotor dar, welcher die Wäschetrommel mittels einer Transmission (Treibriemen) in Rotation versetzt. Die von einem Elektromotor erzeugten Geräusche lassen sich im wesentlichen in aerodynamische Geräusche, magnetische Geräusche und Lagergeräusche unterteilen. Das für die Körperschallübertragung massgebende Geräusch stellt das magnetische Geräusch dar, da es aus einzelnen zum Teil sehr energiereichen und schmalbandigen und daher als lästig empfundenen Komponenten besteht. Das Spektrum dieses magnetischen Geräusches setzt sich aus einer Anzahl Linien zusammen mit einer der Drehstromfrequenz identischen Grundfrequenz von ca. 50 Hz. Die restlichen, energieärmeren Komponenten sind dabei die Harmonischen der Grundschwingung. Die Amplituden der Grund- bzw. Hauptstörfrequenz und der Harmonischen werden in erster Linie durch die elektrische Motorenleistung und durch den speziellen Motorenaufbau bestimmt. Die aerodynamischen Geräusche und die Lagergeräusche sollen hier nicht weiter behandelt werden, da sie nur unwesentlich zu den übertragenen Körperschallschwingungen beitragen. Das Diagramm 2 zeigt zwei für Waschmaschinen typische Betriebsgeräuschpegelverläufe, welche sich in einem normal möblierten Wohnraum (Volumen:

ca. 54 m³) direkt unterhalb des Maschinenaufstellungsorts ergeben. Die Decke zwischen dem Waschmaschinenraum und dem Wohnraum bestand aus 160 mm dickem Stahlbeton. Die erste untersuchte Waschmaschine wies eine starr aufgehängte Wäschetrommel mit einem Inhalt von 60 dm³ auf. Die Tourenzahl beim Schleudern betrug 750 Umdrehungen je Minute. Die Wäschetrommel der zweiten Maschine war über Federbeine elastisch aufgehängt. Im Diagramm 2 kommen die vom Elektromotor herrührenden Grundschwingungen bei 63 Hz und zwei Harmonische des magnetischen Geräusches deutlich zum Vorschein. Wegen der starren Montage des Elektromotors am Maschinenrahmen werden die sehr stark tonal in Erscheinung tretenden Geräuschkomponenten fast ungeschwächt in den Baukörper und von diesem in den angrenzenden Wohnraum übertragen (siehe Kurve A in Diagramm 2).

Etwas kleinere Geräuschkomponenten werden bei Waschmaschinen festgestellt, deren Elektromotoren und Wäschetrommeln elastisch über Federn mit dem Maschinenrahmen verbunden sind (siehe dazu Kurve B im Diagramm 2). Die Differenz zwischen einer starren und einer elastischen Aufhängung des Elektromotors inkl. der Wäschetrommel beträgt danach im Bereich der Hauptstörkomponente ($f = 63$ Hz) rund 5 dB. Der Grund für diese relativ niedere Dämmung ist auf Resonanzerscheinungen in den Federn zurückzuführen, was für die Art der

normalerweise verwendeten Spiralfedern typisch ist. Die Differenz der A-bewerteten Luftschallpegel der beiden ermittelten Betriebsgeräusche (Kurven A und B im Diagramm 2) liegt bei etwa 10 dB (A). Aus den im obigen Diagramm dargestellten typischen spektralen Verläufen der Betriebsgeräusche (Schleudergang) im unter dem Maschinenaufstellungsort befindlichen Wohnraum ergeben sich für die Maschine mit starrer Lagerung der Trommel ein A-bewerteter Luftschallpegel von $L_A = 54$ dB (A) und für die Maschine mit elastischer Lagerung der

Trommel ein solcher von $L_A = 44$ dB (A). Wie oben schon erwähnt, wurde als Maschinenaufstellungsort eine 160 mm dicke Stahlbetondecke verwendet. Als Empfangsraum (Raum direkt unterhalb der Betondecke) diente wiederum ein 54 m³ grosser Raum mit einer mittleren Nachhallzeit von 0,6 bis 0,7 s. Bei einer Beurteilung der Lästigkeit der übertragenen Betriebsgeräusche ist zu berücksichtigen, dass der Spektralverlauf im Bereich von 63 Hz (ungefähre Drehstromfrequenz) einen ausgeprägten «Ton» aufweist. Geräusche mit tonalem Charakter werden generell als sehr viel

Diagramm 1: Darstellung der auf einer 160 mm dicken Stahlbetondecke ($S = 18$ m²) ermittelten Schwingungspegel in Funktion der Wäschetrommel-Tourenzahl; Parameter: Massenunwucht m.

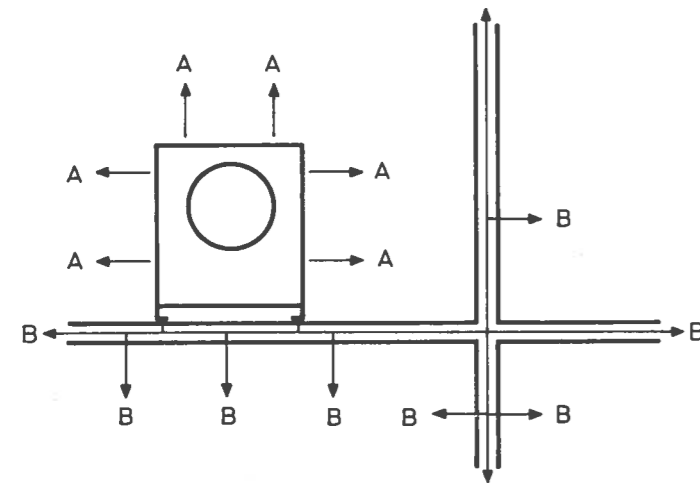
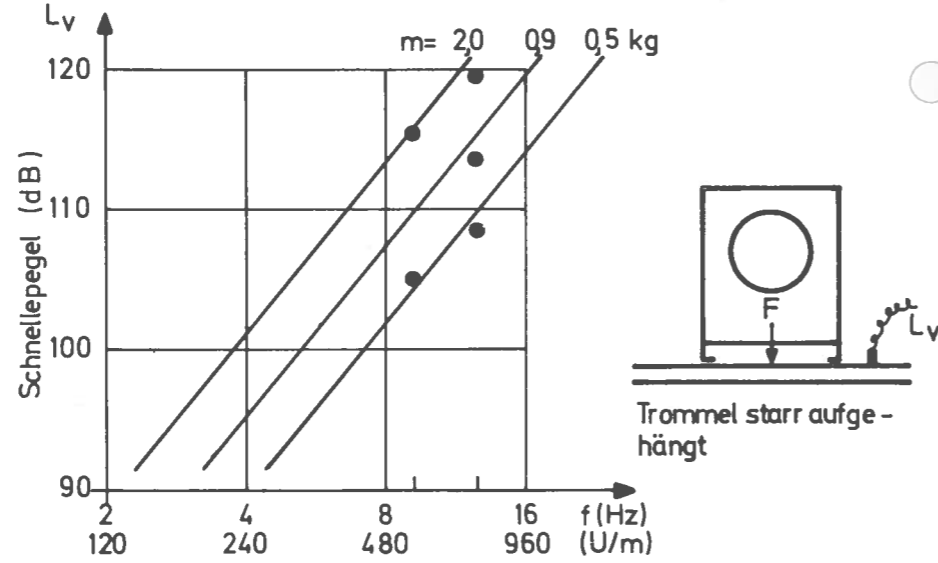


Bild 1: Schnitt durch Waschmaschinenaufstellungsort mit den beiden zu unterscheidenden Schallübertragungsarten: A: direkte Luftschallabstrahlung, B: von der Waschmaschine direkt in den Baukörper induzierte Körperschallenergie.

Diagramm 2: Terzbandpegelverlauf von zwei Waschmaschinenbetriebsgeräuschen im Raum unterhalb des Maschinenaufstellungsortes. Kurve A: Wäschetrommel inkl. Elektromotor starr montiert. (Schleudergang: 750 U./min.) Kurve B: Wäschetrommel inkl. Elektromotor über Federn am Maschinenrahmen befestigt (Schleudergang: 900 U./min.).

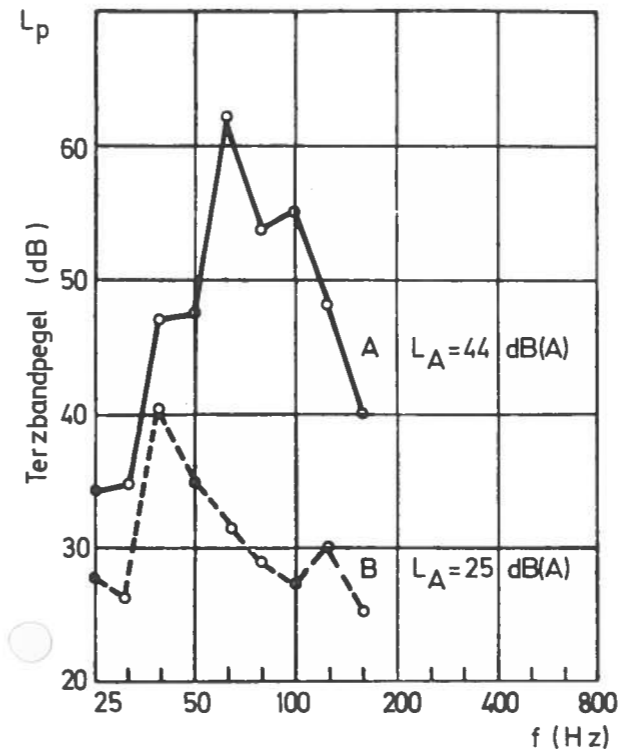
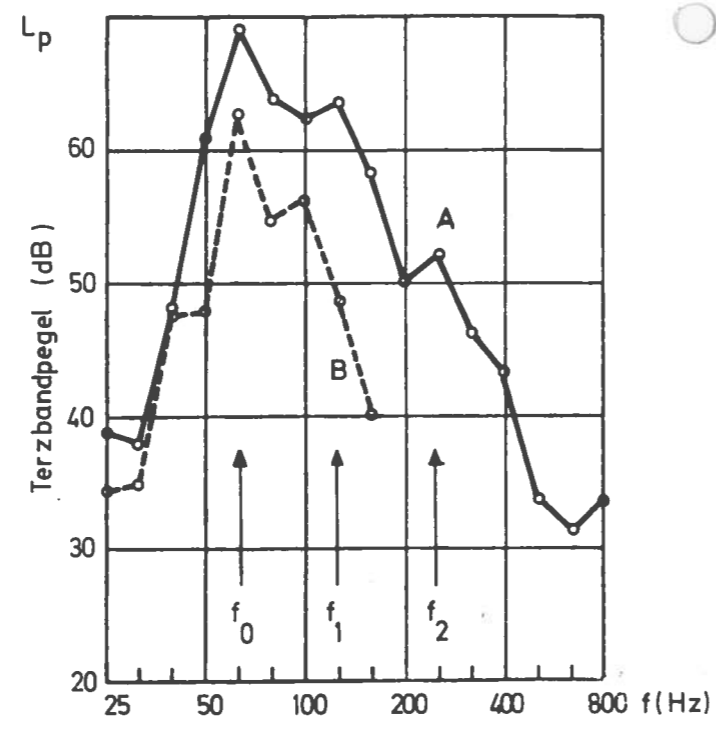
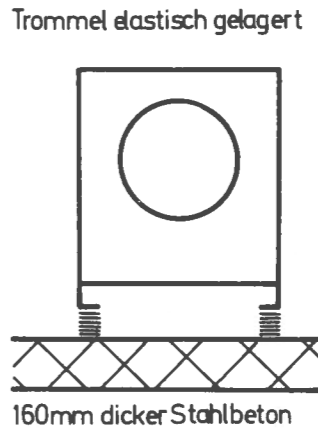
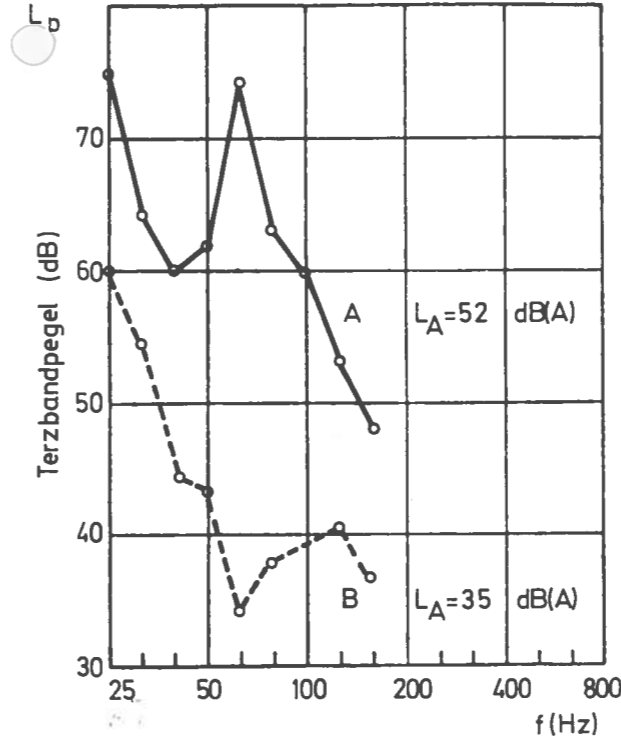


Diagramm 3: Terzbandpegelverlauf eines Waschmaschinenbetriebsgeräusches im Raum unterhalb des Aufstellungsortes; Schleudergang mit 900 U./min. Kurve A: Lagerung ohne Isolatoren, Kurve B: Lagerung über vier Isolatoren aus Gummi (stat. Federkonstante ca. $6 \cdot 10^4$ N/m).

lätiger empfunden als solche mit einem gleichmässigen Frequenzgang. Dieser Tatsache kann dadurch Rechnung getragen werden, indem dem messtechnisch ermittelten Pegel eine Korrektur von 5 dB (A) hinzugefügt wird.

Ein Vergleich der obigen Immissionswerte mit den in der SIA-Norm 181 festgelegten Grenzwerten (Mindestanforderungen: $L_A \leq 35$ dB [A]; erhöhte Anforderungen: $L_A \leq 30$ dB [A]) zeigt, dass diese kaum eingehalten werden können.

Diagramm 4: Terzbandpegelverlauf eines Waschmaschinenbetriebsgeräusches im Raum unterhalb des Aufstellungsortes; Schleudergang mit 900 U./min. Kurve A: Lagerung ohne Isolatoren, Kurve B: Lagerung über vier Isolatoren aus Gummi (stat. Federkonstante: ca. $6 \cdot 10^4$ N/m).



Möglichkeiten zur Minderung der übertragenen Waschmaschinenbetriebsgeräusche

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die Lagerung von Waschmaschinen in den Obergeschossen von Wohnbauten zu erheblichen Geräuschbelastungen führen können. Dies gilt sowohl für Maschinen mit starr gelagerten Wäschetrommeln als auch für solche mit elastisch gelagerten Trommeln. Um nun eine überzeugende Reduzierung der in einen Wohnraum via Körperschall übertragenen Betriebsgeräusche (magnetische Geräusche) zu erreichen, wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, bei denen die Waschmaschinen (Trommel elastisch gelagert) über einzelne Gummiisolatoren auf dem Boden gelagert werden. Als Unterlage diente wiederum eine Stahlbetondecke und des weiteren eine Holzbalkendecke. Die Kurvenverläufe A und B in den beiden Diagrammen 3 und 4 zeigen, dass mit geeigneten auf den jeweiligen Waschmaschinentyp abgestimmten Isolatoren Körperschall- bzw. Luftschallpegelminderungen bis zu 20 dB (A) erreicht werden können. Die Versuche wurden mit Waschmaschinen durchgeführt, deren Trommeln elastisch gelagert werden.

Im weiteren wurde noch nach Möglichkeiten zur Reduzierung der Betriebsgeräusche bei Maschinen mit starr gelagerten Trommeln gesucht. Versuche, bei denen eine Waschmaschine über insgesamt vier Isolatoren aus Gummi auf einer Stahlbetondecke gelagert wurde, ergaben, dass eine für die Praxis akzeptable elastische Lagerung nicht angegeben werden kann. Der Grund liegt dabei an den auftretenden, tieffrequenten Zentrifugalkräften im Schleudergang, welche wegen der starren Aufhängung der Trommel nahezu ungehindert übertragen werden und folglich eine feste Verschraubung der Maschine mit der Unterlage unerlässlich machen. Will man dennoch eine Maschine mit starr gelagerter Trommel verwenden, so sollte sie auf einem direkt auf dem gewachsenen Terrain aufliegenden Kellerboden aufgestellt werden. Solche Böden weisen ein wesentlich unempfindlicheres Verhalten gegenüber dynamischen Wechselkräften auf und werden nur schwer zu Schwingungen angeregt.

Zusammenfassung

Ausführliche schalltechnische Untersuchungen haben gezeigt, dass Waschmaschinen in zwei verschiedene Körperschallquellen eingeteilt werden können. Es sind dies die rotierende Wäschetrommel mit einer Hauptstörfrequenz im In-

fraschallbereich und der elektrische Antriebsmotor, dessen Grundstörfrequenz mit der Drehstromfrequenz identisch ist. Während die beim Rotieren der Wäschetrommel entstehenden Zentrifugalkräfte die Baukonstruktion zu ausgeprägten, meist direkt nicht hörbaren Schwingungen anregen, können die via Körperschall übertragenen magnetischen Geräusche des Antriebsmotors zu erheblichen subjektiven Störungen führen. Grundsätzlich ist zwischen bodenbefestigten Waschmaschinen mit starr mon-

tierten Wäschetrommeln und solchen mit elastisch aufgehängten Trommeln zu unterscheiden. Durch eine elastische Aufhängung der Trommeln werden die auf die Maschinenunterlage übertragenen Wechselkräfte beim Schleudern ausreichend abgeschwächt. Die vom Antriebsmotor verursachten und subjektiv als störend empfundenen Körperschallkomponenten werden jedoch durch die elastische Aufhängung mittels Federbeinen o.ä. kaum vermindert. Durch Lagerung der Waschmaschine auf

geeignet abgestimmten Gummiisolatoren ist es möglich, die übertragenen Betriebsgeräusche auf ein kaum mehr störendes Mass zu reduzieren. — Es soll noch darauf hingewiesen werden, dass auf Gummiisolatoren gelagerte Waschmaschinen beim Schleudern sichtbare Auslenkungen bzw. Schwingungen aufweisen, welche unbedingt zu beachten sind. Es sollte von Fall zu Fall abgeklärt werden, ob diese Auslenkungen hingenommen werden können.