Berechnungsansätze für Rollkoffergeräusche

Ivo Haltenorth, Torsten Westphal

Akustik-Ingenieurbüro Moll GmbH, 14163 Berlin, E-Mail: haltenorth@mollakustik.de

Einleitung

Seit Jahren sorgen Rollkoffergeräusche in touristisch relevanten Städten für Empörung, in Venedig sollte die Rollkoffernutzung bereits verboten werden. Auch deutsche Genehmigungsbehörden fordern bei der Zulassung gewerblich betriebener Ferienwohnungen im urbanen Raum Nachweise, dass Geräusche durch „Trolleys“ für Anwohner immissionsschutzrechtlich zumutbar sind. Der Akustikprüfer und -planer steht damit vor der Aufgabe, diese Geräusche theoretisch oder praktisch zu simulieren und Lösungsansätze zur Einhaltung der Anforderungen abzuwägen.

Im Akustikbüro Moll wurden Messreihen mit Rollkoffern durchgeführt, um Berechnungsansätze für Schallleistungspegel mit Zu- und Abschlägen für Rollkofferarten, Rollgeschwindigkeiten und Rollwegbeläge zu finden.

Bild kann vorübergehend
nicht angezeigt werden
(Feb. 2022)

Abbildung 1: Thematisierung der Geräuschbelästigung durch Rollkoffer in deutschsprachigen Printmedien

Schallimmissionsprognose

In einem konkreten Fall wünschte ein Bauplaner die Genehmigung einer Ferienwohnung im Erdgeschoss eines Hinterhauses, welche über den Innenhof des innerstädtischen Gebäudekarreés fußläufig erschlossen wird. Die zuständige Behörde forderte den Nachweis, dass die erwarteten Geräusche der durch den Innenhof gezogenen Rollkoffer vor den Fenstern schutzwürdiger Räume der Anwohner zu keinen Überschreitungen der Immissionsrichtwerte *IRW* der TA Lärm [1] führen.

Natürlich können durch situative Messungen simulierter Rollkofferbewegungen Immissionswerte an vermutlich maßgeblichen Immissionsorten ermittelt werden, doch mit Rechenansätzen wäre es möglich:

- die Planung durch Modellierung in Schallimmissionssoftware durchzuführen, welche auch Variantenbetrachtungen zulässt,
- abgesicherte Werte für unterschiedliche Arten von Rollkoffern anzusetzen,
- mehrere Immissionsorte zu untersuchen und die maßgeblichen zu finden sowie
- Minderungsmaßnahmen rechnerisch zu prüfen.

Für den konkreten Fall wurde eine empirische Untersuchung durchgeführt. Parallel dazu fanden an anderer Stelle Messreihen zur Ermittlung von Berechnungsansätzen statt. Dieser konkrete Fall wurde dann wiederum in einer Schallimmissionsprognosesoftware mit den Rechenansätzen modelliert und die Prognoseergebnisse wurden mit den fallbezogenen Messergebnissen verglichen.

Abbildung 2: Messungen von Rollkoffergeräuschen in einem Innenhof

Messreihen

Messreihen von Rollkoffergeräuschen sollten Aufschluss erlauben über die Abhängigkeit der Geräuschentwicklung von:

- der Art des Rollkoffers,
- der Masse (Bepackung) des Rollkoffers,
- der Anzahl der rollenden Räder (zwei oder vier),
- den überrollten Wegoberflächen und
- der Bewegungsgeschwindigkeit.

Als relevante Größen wurden gemessen:

- der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq},
- der A-bewertete äquivalente Taktmaximal-Mittelungspegel L_{AFTeq},
- der Maximal-Schalldruckpegel L_{AFmax} zur Betrachtung kurzzeitiger Geräuschspitzen sowie
- die Rollgeschwindigkeit v.

Die maßgebliche Schallabstrahlung bewegter Rollkoffer erfolgt in den meisten Fällen (abhängig von Untergrund und Bepackungszustand) über die Rollen/Räder. Die Schallabstrahlung ist aber auf Grund der Abschirmungen durch die Zugperson und die Kofferhülle nicht gleichmäßig, also nicht halbkugelförmig. Deshalb wurde sowohl in 1 m Abstand schräg hinter als auch in 1 m Abstand schräg beidseitig seitlich zu den Rollkofferrädern gemessen. Weiterhin wurde ein stationärer Messpunkt in einer Entfernung von 7,5 m bis 9,0 m orthogonal zum Mittelpunkt der Wegstrecke aufgestellt, um die Messungen nach dem Teilstreckenverfahren auswerten zu können.

Ein bewegter Rollkoffer verhält sich wie eine wandernde Punktschallquelle, deren Geräuschaufkommen auch verhaltensabhängig ist. Die jeweiligen Messungen wurden deshalb mehrmals wiederholt, zudem wurde das ziehende und messende Personal im Rotationsprinzip getauscht, um Fehlertoleranzen auszuloten.

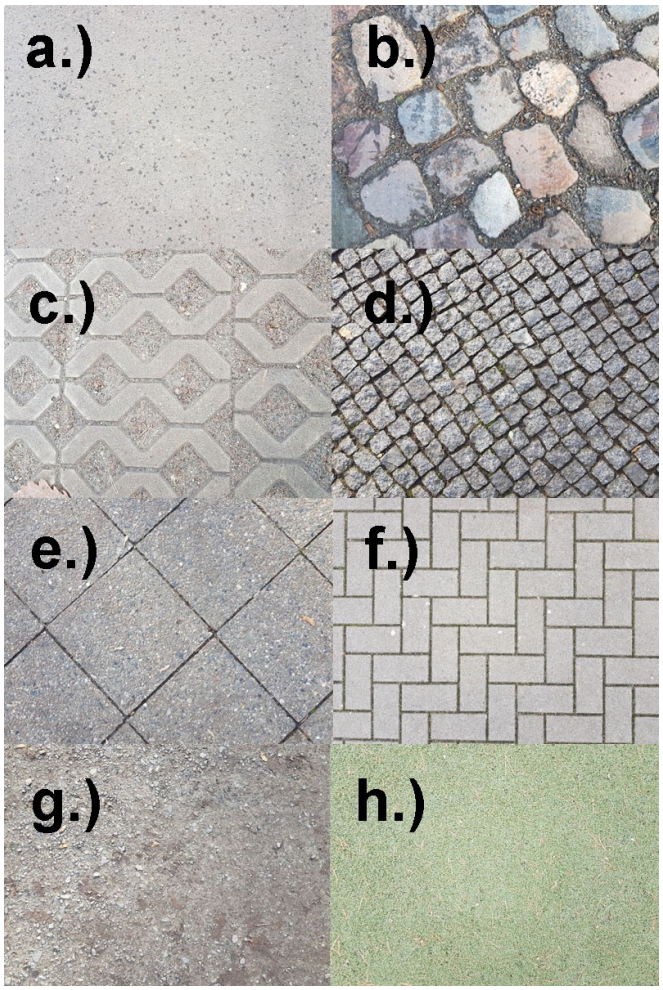

Abbildung 3: Untersuchte Rollwegoberflächen: a.) normalrauher Asphalt, b.) großformatiges Granit-Kopfsteinpflaster, c.) erdverfüllte Beton-Rasengittersteine, d.) kleinformatiges Gehwegpflaster, e.) Beton-Gehwegplatten, f.) Betonsteinpflaster, g.) geschotterter Waldweg, h.) Fußball-Kunstrasen.

Untersucht wurden die Geräuschemissionen auf exemplarischen, im urbanen Raum typischen Geh- oder Rollwegoberflächen (siehe Abbildung 3), wobei die Ergebnisse für ähnliche / vergleichbare Oberflächen als übertragbar angesehen werden. Verwendet wurden vier unterschiedliche Rollkoffer mit Kunststoffrädern. Ziel der Untersuchung war nicht die Minderungswirkung durch bedämpfte Räder und Rollen, sondern die Ermittlung eines maßgeblichen Rollkoffers für den Emissionsansatz und die Überprüfung der Schallleistungsdifferenz zu anderen typischen Rollkofferarten.

Abbildung 4: Untersuchte Rollkoffer: 1.) großer Textilkoffer, Leergewicht 5,1 kg, 2.) großer Hartschalenkoffer, 3,0 kg, 3.) kleiner Stahlkoffer, 4,1 kg, 4.) kleiner Textilkoffer, 3,3 kg.

Die Messungen wurden auch als Audiodateien aufgenommen, um den Anteil von Fremdgeräuschen (Fahrzeuge, Baulärm, eigene Schritte u.a.) eruieren und ausschließen zu können.

Ergebnisse

Der Stahlkoffer (Koffer 3 in Abbildung 4) wurde als maßgeblicher Koffer ermittelt, der sich im Durchschnitt um 5 dB lauter als Koffer 2, 6,5 dB lauter als Koffer 1 und 8 dB lauter als Koffer 4 herausstellte.

Die Messungen schräg hinter einem Koffer zeitigten im Schnitt um 1,5 dB geringere Pegel als Messungen schräg seitlich. Die höheren Pegel werden aufgrund der Prognosesicherheit als Maximalansatz herangezogen und als gleichmäßige Halbkugelabstrahlung angenommen.

Die informativ ermittelten Ergebnisse aus dem Teilstreckenverfahren waren im Durchschnitt um 1,7 dB höher als die rollwegbegleitenden Messungen in 1 m Abstand schräg seitlich.

Der Bepackungszustand ist lediglich für Koffer mit harten Hüllen (Koffer 2 und 3) relevant: im unbepackten Zustand sind diese um etwa 2 dB lauter.

Das Rollen auf vier Rädern erhöht den Pegel im Vergleich zum Rollen auf zwei Rädern um etwa 4 dB.

Messtoleranzen durch Wechsel des Zug- und Messpersonals waren nur hinsichtlich einer geänderten Rollgeschwindigkeit feststellbar.

Abbildung 5: Durchführung von Messreihen, hier: bepackter Stahlkoffer auf Kopfsteinpflaster, Rollgeschwindigkeit $v \approx 5$ km/h, Messung seitlich und hinter dem Koffer.

Das Ausmaß der Erhöhung des Emissionspegels durch eine Erhöhung der Rollgeschwindigkeit (von $v \approx 4{,}8$ km/h auf $v \approx 7{,}6$ km/h) ist von der Rollwegsoberfläche abhängig und liegt zwischen 3,1 dB beim Kunstrasen h.) und 6,2 dB beim Waldweg g.). Die jeweilige Pegelerhöhung ist in Tabelle 1.) zeitbereinigt angegeben: durch die höhere Geschwindigkeit verringert sich die Einwirkzeit des höheren Pegels.

Für den Berechnungsansatz wurde der bepackte und damit 10 kg schwere Stahlkoffer auf Asphalt bei einer Rollgeschwindigkeit von $\bar{v} \approx 4{,}8$ km/h für einen **Grundwert** ohne Impulszuschlag herangezogen. Mehrere Messungen des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} in einer Entfernung von 1 m schräg seitlich der Rollkofferräder wurden gemittelt.

Der Planungswert soll als längenbezogener Schallleistungspegel $L'_{\mathrm{WA,1h}}$ angegeben werden, welcher von einem Rollkoffer pro Stunde und Meter emittiert wird. Im Rechenmodell wäre die emittierende Wegstrecke in 0,1 m Höhe über Gelände auszulegen. Die Ermittlung aus dem gemittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel $\bar{L}_{\mathrm{Aeq}}$ und der Zeitkorrektur z = $\bar{v}$ / 3600 [-] mit der gemittelten Rollgeschwindigkeit $\bar{v}$ in m/s erfolgt gemäß Gleichung (1).

$$L'_{\mathrm{WA,1h}} = \bar{L}_{\mathrm{Aeq}} + 8\,dB - 10 * \log z \left[\frac{\mathrm{dB(A)}}{\mathrm{m*h}}\right] \quad (1)$$

Der o. g. **Grundwert** beträgt:

$$L'_{\mathrm{WA,1h,Grundwert}} = 47{,}0\,\frac{\mathrm{dB(A)}}{\mathrm{m*h}}$$

Auf diesen Grundwert können Pegel-, Impuls- und Geschwindigkeitszuschläge je nach Rollwegoberfläche vergeben werden.

Der Rollwegbelagszuschlag K_{B} ergibt sich aus der Differenz der gemittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel $\bar{L}_{\mathrm{Aeq}}$ bei den Messungen der jeweiligen Rollwegsbeläge.

Der Impulshaltigkeitszuschlag K_{I} je Rollwegbelag wird nach Gleichung (2) aus den gemittelten Messungen des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} und des A-bewerteten äquivalenten Taktmaximal-Mittelungspegels L_{AFTeq} ermittelt:

$$K_{\mathrm{I}} = \bar{L}_{\mathrm{AFTeq}} - \bar{L}_{\mathrm{Aeq}} \quad [\mathrm{dB}] \quad (2)$$

Ein Geschwindigkeitszuschlag K_{v} ergibt sich aus der Differenz der zeitkorrigierten gemittelten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel $\bar{L}_{\mathrm{Aeq}}$ bei den Messungen von $\bar{v} \approx 4{,}8$ km/h und $\bar{v} \approx 7{,}6$ km/h über die jeweiligen Beläge.

Die A-bewerteten Maximal-Schalldruckpegel L_{AFmax} sind die bei Überrollen der jeweiligen Rollwegsbeläge gemessenen Pegelspitzen, welche in einer Schallimmissionsprogenose (aufgerundet) als wandernde Punktschallquelle L_{WAmax} modelliert und zur Betrachtung kurzzeitiger Geräuschspitzen herangezogen werden.

Die Zuschläge auf den Grundwert $L'_{\mathrm{WA,1h}}$ = 47,0 dB(A)/(m*h) und die maximalen Schallleistungspegel für die jeweilige Rollwegoberfläche (siehe Abbildung 3) sind folgende:

Tabelle 1: Zuschläge auf den Grundwert und Maximalpegel als kurzzeitige Geräuschspitze

Oberbelag des Rollweges	Zuschläge			Max.
	K_{B} [dB]	K_{I} [dB]	K_{v} [dB]	L_{WAmax} [dB(A)]
a.) Asphalt	0,0	2,8	2,9	91,0
b.) Kopfstein	6,7	5,0	2,2	103,0
c.) Rasengitter	4,8	4,4	2,8	101,0
d.) Gehwegpflas.	4,5	3,0	4,0	99,0
e.) Gehwegplatt.	0,6	3,0	3,2	92,0
f.) Betonpflaster	0,0	3,5	2,4	93,0
g.) Waldweg	-0,5	3,9	4,4	95,0
h.) Kunstrasen	-17,3	2,5	1,8	71,0

Der **Berechnungsansatz** des längenbezogenen Schallleistungspegels $L'_{\mathrm{WA,1h}}$ zur Ermittlung des Beurteilungspegels in einer Schallimmissionsprognose wäre nach Gleichung (3):

$$L'_{\mathrm{WA,1h}} = 47{,}0 + K_{\mathrm{B}} + K_{\mathrm{I}} + K_{\mathrm{v}} \quad \left[\frac{\mathrm{dB(A)}}{\mathrm{m*h}}\right] \quad (3)$$

Die Berücksichtigung des Geschwindigkeitszuschlages K_{v} wird ggf. dort notwendig, wo Rollkoffer sehr schnell gezogen werden, etwa in Bahnhofs- oder Flughafennähe. Zuschläge für die Bewegung leerer Rollkoffer aus Hartschalen oder Stahl bzw. für eine Bewegung auf 4 Rollen dürften im Praxisfall irrelevant sein.

Überprüfung

Der von der Genehmigungsbehörde geforderte Nachweis für die Ferienwohnung im Erdgeschoss eines Hinterhauses, welche über den Innenhof des innerstädtischen Gebäudekomplexes fußläufig erschlossen wird, konnte mittels einer Schallimmissionsprognosesoftware durch die dreidimensionale Modellierung der baulichen Situation sowie die

Einpflege der Schallquellen und Immissionsorte erfolgen. Da zusätzlich Messungen an den Immissionsorten bei Rollkofferbewegungen erfolgten (siehe Abbildung 2), war ein Abgleich der Prognoseergebnisse mit den Messwerten möglich.

Die Rollkofferbewegungen durch den mit Beton (vergleichbar Asphalt) und teilweise auch Rasengittersteinen ausgelegten Innenhof erfolgte in normaler Geschwindigkeit. Die jeweiligen Wegstrecken mit ihren Emissionsansätzen nach Gleichung (3)

- $L'_{WA,1h,Beton} = 47{,}0 + 0{,}0 + 2{,}8 + 0{,}0 \frac{dB(A)}{m*h}$ und
- $L'_{WA,1h,Rasengitter} = 47{,}0 + 4{,}8 + 4{,}0 + 0{,}0 \frac{dB(A)}{m*h}$

wurden zur Berechnung des A-bewerteten äquivalenten Taktmaximal-Mittelungspegels L_{AFTeq} (der die Impulshaltigkeit inkludiert) in das Rechenprogramm eingepflegt.

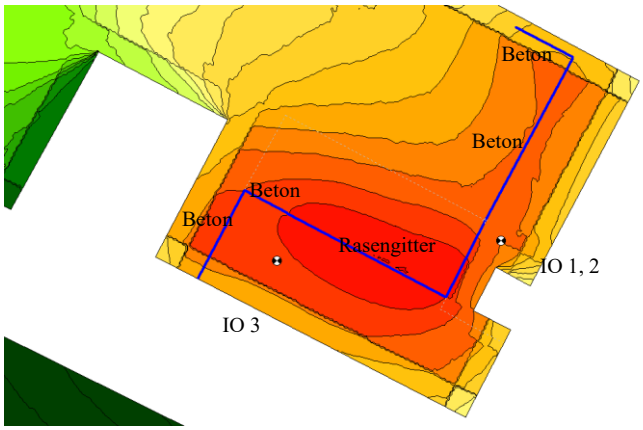

Abbildung 6: Schallausbreitungskarte für eine Rasterhöhe von 2,0 m bei einer Rollkofferdurchfahrt (Weg Nr. 2) in einem innerstädtischen Innenhof.

Die A-bewerteten maximalen Schallleistungspegel L_{WAmax} von 91 dB(A) auf dem Betonweg bzw. 101 dB(A) auf dem Rasengitterweg wurden zur Berücksichtigung kurzzeitiger Geräuschspitzen als Punktschallquellen in der Nähe der jeweiligen Immissionsorte modelliert.

Tabelle 2: Abgleich Prognose- mit Messwerten von vier Wegstrecken, gemittelt über drei Immissionsorte (IO)

Weg	Differenz Prognose / Messung	
	L_{AFTeq} [dB(A)]	L_{AFmax} [dB(A)]
1	3,6	8,4
2	0,9	6,0
3	0,0	6,3
4	3,2	7,6

Bei insgesamt 12 Messungen und Berechnungen liegt die Standardabweichung σ_z zwischen Mess- und Prognosewerten für L_{AFTeq} bei 2,9 dB und für L_{AFmax} bei 7,9 dB. Die Messwerte von $L_{AFTeq,1h}$ liegen im arithmetischen Mittel um 1,9 dB und von L_{AFmax} um 7,1 dB niedriger als die Prognosewerte. Damit wäre eine Prognosesicherheit gewährleistet. Allerdings wurde sowohl zur Ermittlung der Berechnungsansätze für die Prognose als auch für die fallbezogenen Messungen der gleiche Rollkoffer verwendet.

Mit den Prognose-, aber auch mit den Messergebnissen ist eine Vorhersage für mehrere Rollkofferfahrten je Stunde möglich (mehrere an- oder abreisende Personen und / oder eine Person mehrmals). Die Prognose mittels dreidimensionalen Rechenmodells erlaubt zusätzlich die Betrachtung aller Immissionsorte und erleichtert das Auffinden des maßgeblichen Immissionsortes.

Sowohl mit den Prognose- als auch mit den Messergebnissen, aber unter Verwendung der Daten aus Tabelle 1, ist bei einer Überschreitung der Immissionsrichtwerte *IRW* die Prüfung alternativer Rollwegbeläge möglich. Im vorliegenden Fall wären die Anforderungen in der „lautesten Nachtstunde“ nur dann eingehalten, wenn die Rollkoffer-Wegstrecken mit dämpfenden Belägen, etwa einem Fußball-Kunstrasen oder Vergleichbarem, ausgelegt würden.

Ausblick

Geräusche durch Rollkoffer, die in touristisch frequentierten Städten erhebliches Störpotenzial aufweisen und ggf. als gewerbliche Geräusche einstufbar sind, können mit Berechnungsansätzen, wie sie für andere Geräuschquellen wie bspw. Hubwägen oder Lkw-Bewegungen im Anlieferund Entsorgungsverkehr üblich [2] sind, nunmehr auch planerisch abgeschätzt werden.

Wünschenswert wäre eine Verfestigung und Erweiterung der Datengrundlage, bspw. die Differenzierung zwischen grobkörnigem und glattem Asphalt / Beton oder weiterer Rollwegbeläge, aber auch von dämpfenden Gehwegbelägen wie etwa Gummimatten, deren Problemlösungspotenzial dann planerisch / rechnerisch nachweisbar wäre. Auch die Impulsabhängigkeit verwinkelter Wegstrecken könnte näher untersucht werden.

Generell sind Maßnahmen direkt an einer Schallquelle am Sinnvollsten, und so wäre die Untersuchung der Wirkung bedämpfter Rollen / Räder an Rollkoffern auf verschiedenen Rollwegbelägen wünschenswert. Allerdings muss für eine immissionsschutzrechtliche Betrachtung von einem durchaus üblichen (also nicht seltenen) Maximalansatz ausgegangen werden.

Danksagung

Dank für die Mithilfe bei den Messungen und Messauswertungen geht an Herrn Matthias Elfmann, Frau Felicitas Fiedler, Herrn Martin Andrée und Herrn Nils Schönfeld.

Literatur

[1] Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Bundesministerium des Innern (1998 und 2017)

[2] Lenkewitz, K., Müller, J.: Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen durch Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern, Speditionen und Verbrauchermärkten sowie weiterer typischer Geräusche insbesondere von Verbrauchermärkten, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2005)