Bauakustische Gestaltung von städtischen Innenhöfen

David Goecke[1], Mark Koehler[2], Yohko Aoki[3]
[1,2,3] *Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 70569 Stuttgart*
[1]*E-Mail: david.goecke@ibp.fraunhofer.de*
[2]*E-Mail: mark.koehler@ibp.fraunhofer.de*
[3]*E-Mail: yohko.aoki@ibp.fraunhofer.de*

Einleitung

In Gebäudeensembles und Straßenschluchten, die als Mobilitätsflächen einen beträchtlichen Stadtraum einnehmen, scheint es zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwierig, den Verkehrslärm zu reduzieren ohne gleichzeitig die Mobilität deutlich einzuschränken. Lösungsspielraum mit Vorbildcharakter besteht jedoch etwa bei Innenhöfen, die durch Gebäude umschlossen und damit vom allgemeinen Straßenverkehr abgeschirmt sind. Einerseits bleibt so Verkehrslärm außen vor, lediglich Öffnungen und Durchgänge lassen Mobilität und Lärm eindringen. Andererseits führen die meist schallharten Oberflächen aber zu vielfachen Reflexionen und damit zu einer besonderen Hellhörigkeit für jegliche Alltagsgeräusche. Gerade wenn Raumbedarf und Grundstückspreise die zunehmende Verdichtung in Innerstädten vorantreiben, sollte die Qualität der Innenhöfe als Aufenthalts- und Erholungsräume nicht ungenutzt bleiben. Mit dem Ziel einer ganzheitlichen Aufwertung von Innenhöfen stehen bei dieser Untersuchung die akustisch wirksamen Maßnahmen im Vordergrund, um die Aufenthaltsqualität zu steigern. An einem konkreten Beispiel-Areal wird mit Hilfe eines digitalen Modells die Schallimmission prognostiziert. Darauf aufbauend werden verschiedene Maßnahmen virtuell umgesetzt und deren Auswirkung auf die Akustik simuliert.

Beispiel-Areal und Schallquellen

Das Beispiel-Areal liegt im Stuttgarter Stadtteil West. Auch wenn die Stuttgarter Innenstadt für ihre Kessellage mit stark ausgeprägter Wohnbebauung in den Hanglagen bekannt ist, sind in Teilen der Stadt mehrere Gebiete dieser Art zu finden. Zur Erfassung der aktuellen Situation wurden mehrere Begehungen des Areals fotografisch (siehe Abbildung 1) und durch akustische Messungen dokumentiert. Die Messungen werden schließlich in ein computergestütztes Verfahren zur Prognose der Schallimmissionen im Areal integriert.

Abbildung 1: Bilder des Beispiel-Areals in Stuttgart West. Luftbild (links) [Stadt Stuttgart], Innenhofbereich mit Balkonen und Parkplatz (mittig) und Zugang zum Innenhof (rechts) [IBP].

Straßen und Schienen

Das Verkehrsaufkommen durch den zweispurigen Straßenverkehr bei einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h auf der Schloßstraße im südlichen Rand des Areals lässt sich mit ca. 5.000 Fahrzeugen pro Stunde abschätzen. Das Areal ist westlich, nördlich und östlich durch drei verkehrsberuhigte Straßen umgeben (Höchstgeschwindigkeit 30 km/h). Die Stadtbahnen verkehren über die Schloßstraße mit täglich ca. 30 Stadtbahnen pro Stunde mit einer Geschwindigkeit von bis zu 50 km/h.

Parkplätze

Insbesondere im südöstlichen Teil des Areals ist eine große Parkfläche zu finden. Sie bietet Platz für die Fahrzeuge der Anwohnenden und Berufstätigen. Insgesamt verfügt der große Parkplatz über ca. 50 Stellplätze. Im Südwesten des Areals liegt zusätzlich die Einfahrt zu einer Tiefgarage. Weitere Parkmöglichkeiten liegen im nördlichen Teil des Areals, die vereinzelt in den Gebäuden untergebracht sind. Hier grenzen Mauern und kleinere Gebäude an, deren schallharte Oberflächen den Schall der Fahrzeuge während des Parkvorgangs reflektieren. Zu den Geräuschen zählen hier z. B. das Einsteigen (öffnen / schließen von Fahrzeugtüren) sowie das Rangieren und das langsame Fahren auf einer Mischung von Natursteinpflaster und an mehreren Stellen ausgebessertem Asphalt. Insgesamt wurden im Mittel drei Parkbewegungen gleichzeitig pro Stunde auf den Parkflächen gezählt.

Grünanlagen

Die vorhandenen Grünflächen dienen bereits heute dem lokalen Mikroklima des Innenhofes. Durch sie entstehen Lebensräume für kleinere Tiere, wie Vögel, deren natürliche Geräusche nachweislich eine bevorzugte Geräuschkulisse entstehen lassen [1] [2]. Durch die Ergänzung von Verweilmöglichkeiten können soziale Kontakte gefördert und Naherholungsgebiete geschaffen werden. Nicht zuletzt die Covid-19 Pandemie zeigt, wie wichtig der Austausch mit anderen Mitmenschen, aber auch die Erholung in der näheren Umgebung des Wohnsitzes sein kann. Zu alledem entlasten sie bei Starkregen die Kanalisation. Der Ausbau dieser Grünflächen ist also aus mehrfacher Sicht erstrebenswert.

Gebäude

Die Gebäude des Areals sind zwischen ca. 3 m und ca. 20 m hoch. Ein Objekt wurde während der Projektlaufzeit nahezu vollständig neugestaltet. Der während der Sanierung erzeugte Baulärm konnte dabei aufgezeichnet werden. Die Fassaden der Gebäude bestehen aus unterschiedlichen Komponenten. Zu einem großen Teil (ca. 65 %) fallen verputzte Fassaden auf. Vernachlässigbar gering ist der Anteil der

Natursteinfassaden. Der Anteil der Fenster wird auf ca. 30 % geschätzt und ca. 5 % der Fassadenfläche sind mit Balkonen belegt. Diese Zusammenstellung ist für Areale dieser Art typisch und funktional. Eine spezielle Berücksichtigung der Akustik in den Innenhöfen ist aktuell nicht zu erkennen.

Durchgänge und Tunnel

Das Areal verfügt über fünf Durchgänge (Schluchten). Ein Teil des Areals ist durch einen Gebäude-Tunnel erreichbar, dessen Tiefe der der Gebäudezeile entspricht.

Simulation der Schallimmission

Schallimmissionsmessung

Im Beispiel-Areal waren bei der Bestandsaufnahme vor Ort verschiedene urbane Schallquellen sowohl temporär als auch durchgehend vorhanden. Hierzu zählen neben dem Straßen- und Schienenverkehr auch Parkplätze, Kindergärten sowie eine Baustelle. Der äquivalente Dauerschalldruckpegel wird durch einen Analysator *Nor140* (Norsonic) über die Messdauer zu einem äquivalenten Dauerschalldruckpegel L_{eq} berechnet. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl der Messungen.

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Messungen, Messdauern und äquivalente Dauerschalldruckpegel.

Messung	Dauer [s]	L_{eq} [dB(A)]
Belüftung Tiefgarage	26	60,6
Stadtbahn Kurvenquietschen	15	69,6
Kindergarten	42	56,5
Rutschauto (auf Pflasterstein)	10	67,6
Baustelle Bohrer	41	57,6
Baustelle Hammer	34	36,1

Digitales Berechnungsmodell

Das verwendete Datenformat basiert auf dem Projekt OpenStreetMap (OSM, [3]). Durch die Verwendung des OSM-Modells stehen viele der digitalen Objekte des Areals bereits nahezu vollständig parametriert zur freien Nutzung zur Verfügung, was einen schnellen Start in eine inhaltliche und zielorientierte Bearbeitung von Lösungsvorschlägen mit Hilfe der Software SoundPlan® ermöglicht.

Berechnungsparameter

SoundPlan® berechnet aus dem eingegebenen Schallleistungspegel L_W einer Quelle die äquivalenten, A-bewerteten Dauerschalldruckpegel L_{eq} in der Umgebung. Ausgehend von den akustischen Messungen im Areal werden Schallleistungspegel pragmatisch abgeschätzt und in das Berechnungsmodell integriert. Sie werden als Punktschallquellen in das digitale Modell eingetragen, da sie örtlich stark begrenzt und während der Schallexposition nahezu unbewegt sind (z. B. Baustelle oder Belüftung der Tiefgarage). Durch einen Vergleich (Berechnung mit Messung) wird schließlich sichergestellt, dass die Berechnungsergebnisse bis auf ±0,5 dB(A) mit den Messwerten übereinstimmen.

Der Verkehrslärm wird durch das Verkehrsaufkommen und das durch die SoundPlan® Bibliothek zur Verfügung stehende und typische Terz-Frequenzspektrum für Verkehrslärm als Linienschallquelle modelliert und mit offiziellen Lärmkarten der Stadt Stuttgart validiert. Die Schallausbreitung des Verkehrslärms folgt der Form eines Halb-Zylinders entlang der Linie.

Parkplätze werden im Beispiel-Areal als Flächenschallquellen simuliert. Für die Parametrierung wird die bayrische Parkplatzlärmstudie zu Grunde gelegt, die von einem Schallleistungspegel von L_{WA} = 63 dB(A) pro Stellplatz und Parkbewegung ausgeht [4].

Analyse der Ausgangssituation

Zur Bewertung der Situation im Ausgangszustand wird zunächst eine Schallausbreitungsberechnung mit allen beschriebenen und zum Teil gemessenen Schallquellen im möglichst originalgetreu modellierten Areal durchgeführt. Die Ergebnisse in 2 m Höhe in Form von Rasterkarten (zur farblichen Darstellung der Lärmverteilung) und Immissionspunktberechnungen (für die Darstellung der Schallpegel an ausgewählten Orten) dienen als Referenz und sind in Abbildung 2 zu sehen.

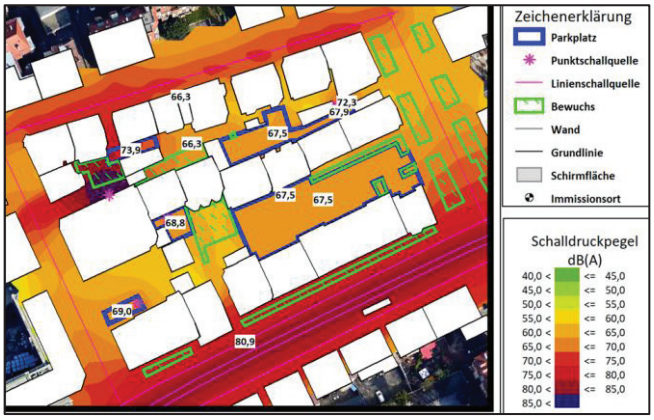

Abbildung 2: Schallimmission mit beispielhaften Immissionspegeln in dB(A) (Zahlenangaben) als Momentaufnahme der Schallimmission im Beispiel-Areal. „Worst Case“ Annahme: alle Schallquellen emittieren gleichzeitig [erstellt mit SoundPlan®].

Mit dem Vergleich von Ergebnissen, die anschließend mit akustisch wirksamen Maßnahmen berechnet werden, erfolgt eine Wirkungsabschätzung der verschiedenen Varianten anhand von Differenzrasterkarten. Außerhalb des Areals fällt die Schloßstraße als Geräuschquellen mit bis zu 81 dB(A) (Abbildung 2 dunkelroter Bereich) auf. Dabei ist andeutungsweise ein Eintrag des Verkehrslärms in den Innenhof zu erkennen. Innerhalb des Areals sind die Parkplätze mit gut 67 dB(A) maßgeblich für die Schallimmissionen. Besonders hervorzuheben ist die Baustelle als Lärmquelle, die am Ort der Bauarbeiten über 85 dB(A) erreichen kann (Abbildung 2 violetter Bereich). Der vor Ort gewonnene subjektive Eindruck zeigt, dass die temporäre Baustelle das größte Belästigungspotenzial innerhalb des Areals darstellt. Das wird durch die Berechnungsergebnisse gestützt. Insgesamt ist festzustellen, dass eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte der DIN 18005 Teil 1 von 60 dB(A) (tags) für besondere Wohngebiete in Innenhöfen möglich ist.

Akustisch wirksame Maßnahmen

Schallschutz an Gebäuden

Der Einsatz schallabsorbierender Materialien an den bisher schallharten Flächen kann zu einer Reduzierung der reflektierten Schallanteile und somit zu einer Verringerung der Schallimmissionen beitragen. Diese Maßnahme entfaltet besonders dann ihre Wirkung, wenn (Gebäude-) Wände nahe beieinanderstehen. Geeignete Schallabsorber sind dabei offenporige Stoffe, in die der Schall eindringen kann. Für den Einsatz im Außenbereich ist jedoch eine gewisse Witterungsbeständigkeit gefordert. Für Faserdämmstoffe und Kunststoffschäume bedeutet dies, dass sie in eine hinterlüftete Fassade mit perforierter Außenhaut integriert werden müssen. Eine Alternative dazu sind Elemente aus witterungsbeständigem Blähglasgranulat (z. B. Reapor® [5]), die hier beispielhaft angenommen werden. Durch das Vorhandensein von Fenstern und Türen wird der Anteil der Fassadenfläche, der ausgekleidet werden kann, auf 65 % geschätzt (30 % Fenster, 5 % Balkone) und ein mittlerer, bewerteter Absorptionsgrad von $\alpha_w = 0{,}65$ angenommen.

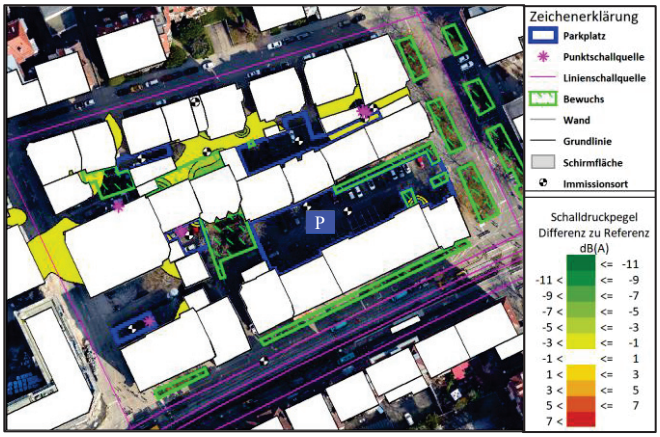

Abbildung 3: Schallimmissionspegeldifferenz zur Ausgangssituation. Reduzierung durch schallabsorbierend ausgekleideten Fassadenanteil (65 %) in Fassadennähe bis zu 7 dB(A) möglich.

Wie aus der Differenzrasterkarte in Abbildung 3 zu erkennen, ist eine Schallpegelminderung (grün) von bis zu 7 dB(A) in Fassadennähe festzustellen. Die fehlende Wirkung im Bereich des großen Parkplatzes (P) ist durch die dominierende Flächenschallquelle zu erklären, wodurch die Wirkung der Fassadenabsorber kaum ausgeprägt ist. Als weitere Maßnahme wird beispielhaft der Einfluss von schallabsorbierenden Balkonverkleidungen betrachtet.

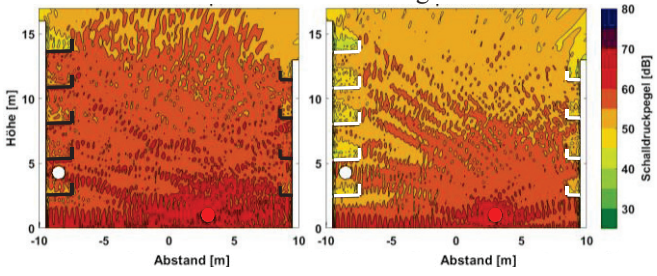

Abbildung 4: Auswirkungen schallabsorbierend ausgekleideter Balkonverkleidungen bei einer Schallquelle am Boden (rot, z. B. ein Auto). Links: kein absorbierendes Material (schwarz), rechts: Balkonverkleidungen (weiß) schallabsorbierend [IBP Simulation mit COMSOL®].

Mithilfe einer Simulation mit der Software COMSOL® wird die Auswirkung auf die Schallausbreitung losgelöst vom SoundPlan® Berechnungsmodell heraus- und in Abbildung 4 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der simulierte Schallimmissionspegel auf den Balkonen sowie ab der dritten Geschosshöhe um bis zu 15 dB(A) reduziert werden kann. Durch diese Verringerung der Lärmbelastung kann also die Aufenthaltsqualität und die Privatsphäre auf den Balkonen gesteigert werden.

Parkplätze und Grünanlagen

Um das Beispiel-Areal »leiser« zu gestalten, kann die Begrenzung der Parkflächen im gesamten Areal eine wirkungsvolle Möglichkeit sein. Bereits von der Verlagerung oder dem Verzicht auf Teile der vorhandenen Parkflächen im großen Innenhof kann das Areal profitieren. Dafür wird beispielhaft ein Teil der großen Parkfläche in den südwestlichen Teil des Areals verlegt. Die dabei entstehenden Freiflächen im großen Innenhof können in Grünflächen umgewandelt werden und dienen so als neu geschaffenes Naherholungsgebiet. Die neue Nutzfläche kann zusätzlich durch eine optisch ansprechende oder begrünte Lärmschutzwand von den unveränderten Parkplätzen räumlich, visuell und akustisch abgegrenzt werden.

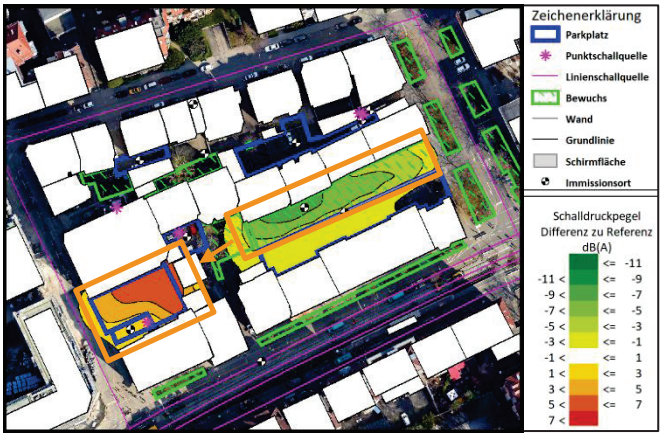

Abbildung 5: Schallimmissionspegeldifferenz zur Ausgangssituation. Reduzierung durch die Verlegung eines Teils der großen Parkfläche an das südwestliche Ende des Areals. Bis zu 11 dB(A) Reduzierung möglich.

Die Auswirkung der Maßnahmen auf die Akustik in Folge der neuen Flächennutzung zeigt die Differenzrasterkarte in Abbildung 5. Zum einen ist eine Reduktion von bis zu 11 dB(A) in dem Bereich zu erkennen, in dem die Parkplätze wegfallen. Zum anderen wird folglich ein Anstieg der Schallimmissionen von bis zu 7 dB(A) auf den neu angelegten Parkplätzen prognostiziert. Dieser Nachteil kann wiederum durch eine abschirmende Maßnahme kompensiert werden. Neben einer Detaillierung der Umnutzung werden im Folgenden in einem Maßnahmenpaket daher ebenfalls abschirmende Maßnahmen an Durchgängen und der neugeschaffenen Parkfläche diskutiert.

Weitere Maßnahmen

Bei der Begehung des Areals sind kleinere, unbewohnte Nebengebäude aufgefallen. Ein Abriss dieser Gebäude könnte weitere Flächen mit dem Potenzial zur Verfügung stellen, sie zu Nutz- oder Grünflächen umzuwandeln. In der

Differenzkarte in Abbildung 6 wird die ehemalige Position der im digitalen Modell entfernten Gebäude durch einen lokalen Anstieg der Schallimmission in Rot deutlich. Zusätzlich werden die neu angelegten Parkplätze im südwestlichen Teil des Areals sowie die Zugänge zum Innenhofbereich mit abschirmenden Elementen (virtuell) überdacht (Abbildung 6 graue Fläche), wodurch die Ausbreitung der Schallimmissionen des Parkplatzes abgeschirmt und der eindringende Verkehrslärm in Richtung Straße reflektiert wird. Der Einsatz schallabsorbierender Fassaden wird in dieser Simulationsberechnung ebenfalls berücksichtigt. Insgesamt entsteht so im großen Innenhof im südlichen Teil des Areals eine durchgehende Grünfläche. Auch wenn es sich bei den derzeit durchgeführten Bauarbeiten an der Nordwestseite des Areals nicht um die letzten Bautätigkeiten in näherer Umgebung handeln dürfte, ist dennoch nach Abschluss der Bauarbeiten eine grundsätzliche Verringerung der Schallimmissionen im Beispiel-Areal zu erwarten. Deshalb wird bei der Berechnung des Maßnahmenpakets die Baustelle als Schallquelle entfernt.

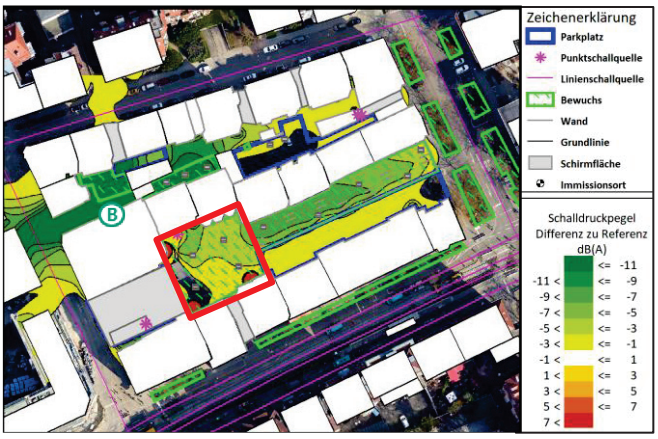

Abbildung 6: Schallimmissionspegeldifferenz zur Ausgangssituation. Reduzierung durch schallabsorbierend ausgekleidete Fassadenanteile, die Verlegung eines Teils der großen Parkfläche, Überdachungen von Parkplätzen und Zugängen und nach Wegfall der Baustelle. Mehr als 11 dB(A) Reduzierung möglich.

Abbildung 6 zeigt schließlich die Auswirkungen aller Maßnahmen in der Differenzrasterkarte. In einem überwiegenden Teil des Areals ist in der angenommenen Momentaufnahme eine Reduzierung des Schalldruckpegels (1 bis 3 dB(A)) zu erkennen, die insbesondere in den Bereichen der neu angelegten Grünflächen auf bis zu 11 dB(A) prognostiziert werden kann.

Gestaltung von Innenhöfen

Mit dem vorgestellten Maßnahmenpaket wird ein wesentlicher Teil der Innenhöfe zur Ausgestaltung zu einem Naherholungsgebiet verfügbar. Abbildung 7 zeigt beispielhaft, wie eine Umgestaltung der freigewordenen Parkfläche aussehen kann. Eine Auswahl von Stadtmöbeln, auch unter Berücksichtigung von akustisch wirksamen Eigenschaften, trägt zusätzlich zur Ruhe im Innenhof bei. Bspw. sind speziell befüllte Gabionen als Sichtschutz, Schallschutz, Sitzmöglichkeit und Landschaftsgestaltung gleichermaßen einsetzbar. Ergänzend dazu ist das Angebot von Stadtmöbeln und grün bewachsenen überdachten Bereichen eine Möglichkeit Ruhezonen zu schaffen, die die soziale Interaktion steigern können.

Abbildung 7: Beispielhafte Visualisierung der Umgestaltung (rechts [Shutterstock / jamesteohart]) der großen Parkfläche (links [IBP]) hin zu einem urbanen Naherholungsgebiet.

Zusammenfassung

Die vorgestellten akustisch wirksamen Maßnahmen und Gestaltungsbeispiele demonstrieren, welche Konzepte zur allgemeinen Beruhigung von Innenhöfen beitragen. Sie zeigen ferner Möglichkeiten auf, wie durch ihre Kombination urbane und gleichzeitig natürliche Naherholungsgebiete geschaffen werden können. Dabei unterstützt bspw. die vergleichsweise einfach umsetzbare und kostengünstige Anbringung schallabsorbierender Materialien an Balkonverkleidungen. Sie können zu einer allgemeinen Pegelreduktion im Innenhof beitragen und gleichzeitig die Vertraulichkeit bei Gesprächen auf dem Balkon erhöhen. Des Weiteren bieten Stadtmöbel und Lärmschutzwände aus schallabsorbierenden Bauteilen die Möglichkeit, an Begegnungsorten für Schall- und Sichtschutz zu sorgen. Parkplatzbewegungen sind eine gewichtige Schallquelle, wie in diesem Beispiel gezeigt werden konnte. Die Reduzierung von Parkflächen oder deren entsprechende Verlegung kann daher eine effiziente Lärmschutzmaßnahme in Innenhöfen darstellen. Der Einsatz von abschirmenden Dächern, schallabsorbierend verkleideten Fassaden und Durchgangsbereichen können ebenfalls zur Pegelreduktion im Innenhof beitragen. Die Beurteilung der Maßnahmen an Durchgängen ist aktueller Gegenstand der Forschung, die den Einfluss ihrer Geometrie auf den Schalleintrag in den Innenhofbereich betrachtet.

Danksagung

Wir danken dem Verkehrsministerium Baden-Württemberg für die finanzielle Unterstützung der Studie.

Literatur

[1] K. W. Ma, C. M. Mak und H. M. Wong, „Effects of environmental sound quality on soundscape preference“, in Applied Acoustics, 2020.

[2] M. Nilsson und B. Berglund, „Soundscape Quality in Suburban Green Areas and City Parks“, in Acta Acustica United With Acustica, Stockholm, 2006.

[3] OpenStreetMap, URL: `www.openstreetmap.de`.

[4] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „Parkplatzlärmstudie“, München, 2007.

[5] Liaver GmbH & Co KG, URL: `www.liaver.com/reapor/`.