

IBP-Bericht B-AK 7/2020

Der Ruhe den Hof machen
Akustische Gestaltung urbaner Oberflächen am
Beispiel von Innenhöfen

Durchgeführt im Auftrag
Verkehrsministeriums Baden-Württemberg

David Goecke
Mark Koehler

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht B-AK 7/2020

Der Ruhe den Hof machen

Akustische Gestaltung urbaner Oberflächen am Beispiel von Innenhöfen

Durchgeführt im Auftrag des
Verkehrsministeriums Baden-Württemberg

Der Bericht umfasst
42 Seiten Text
2 Tabellen
29 Abbildungen

David Goecke, M. Sc., M. Ac.
Mark Koehler, M. Bp.

Stuttgart, 30. November 2020

Institutsleiter

Abteilungsleiter

Bearbeiter

Prof. Dr.-Ing.
Philip Leistner

Dr.
Peter Brandstät

M.Sc. M.Ac.
David Goecke

Inhalt

1	Motivation und Ziele	3
2	Schallemission und -immission im urbanen Gebiet	4
2.1	Lärmquellen	4
2.2	Lärmwirkung	6
2.3	Lärmschutzmaßnahmen	6
2.4	Gesetze und Verordnungen	7
3	Beispiel-Areal: Innenhof, Stuttgart-West	8
3.1	Straßen und Schienen	9
3.2	Parkplätze	9
3.3	Grünanlagen	9
3.4	Gebäude	10
3.5	Durchgänge und Tunnel	11
3.6	Schallimmissionsmessung	12
4	Aufbau und Eingangsdaten des digitalen Berechnungsmodells	15
4.1	Objekte	16
4.2	Schallquellen	17
4.3	Immissionsberechnung	18
5	Untersuchung von Schallschutzmaßnahmen	19
5.1	Analyse der Ausgangssituation	19
5.2	Akustisch wirksame Konzepte im Beispiel-Areal	20
5.2.1	Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden	21
5.2.2	Schallschutz von Durchgängen	25
5.2.3	Parkplätze und Grünflächen	27
5.2.4	Maßnahmenpakete	28
5.3	Gestaltung der Innenhöfe	31
5.4	Kostenabschätzung	33
6	Zusammenfassung und Ausblick	34
7	Glossar	36
A.1	Schallimmissionsmessungen Diagramme	39

1 Motivation und Ziele

In Gebäudeensembles und insbesondere Straßenschluchten, die als Mobilitätsflächen einen beträchtlichen Stadtraum einnehmen, scheint es zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwierig, den Verkehrslärm zu reduzieren ohne gleichzeitig die Mobilität deutlich einzuschränken. Konflikte dieser Art waren ein wichtiger Anlass für das Symposium »Akustische Stadtgestaltung« [1]. 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 Hellhörigkeit für jegliche Alltagsgeräusche. In einigen Städten existieren bereits gute Beispiele für Gestaltungsmöglichkeiten von Innenhöfen als Freiräume und wie sich diese zu Tageslicht-Oasen und Rückzugsorten in einer „urbanen Wüste“ wandeln können. Das Potenzial ist mit diesen Beispielen aber keineswegs ausgeschöpft. Mit verlässlichem Wissen und mehr Beispielen lässt sich gute Praxis nachvollziehbar verbreiten. 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 in diesem Projekt die akustischen Eigenschaften und Funktionen im Vordergrund, um Nutzwert und Aufenthaltsqualität zu steigern. Im Ergebnis sollen die Mittel bekannt sein, wie eine notwendige Schutz- und Lebensatmosphäre in Innenhöfen geschaffen werden kann. Für die Erarbeitung von Konzept und Umsetzungsportfolio soll dabei ein konkretes Beispielobjekt in der Stadt Stuttgart dienen. Unterstützt durch orientierende Messungen am Objekt und an Ausstattungselementen gehen theoretische Betrachtungen und akustische Simulationen in die Lösungsfindung ein. Kern des Ansatzes ist die akustisch motivierte, aber bauphysikalisch multifunktionale Gestaltung von Bauteilen und Oberflächen, die auf aktuellen Ergebnisse und Entwicklungen aus dem Projektschwerpunkt *Bauphysik Urbaner Oberflächen* aufbauen. Innovative Beispiele sind z.B. schallabsorbierende und schalllenkende Fassaden- und Durchgangsbekleidungen, die auch zur energetischen und substanziellen Sanierung der Gebäude beitragen. Die Möglichkeit einer zusätzlichen, extensiven Begrünung von Oberflächen (*Biophilic Design*) mit ihrer durchweg positiven Wirkung soll dabei einen hohen Stellenwert einnehmen. Aber auch andere Gestaltungsmöglichkeiten und der Einsatz von Objekten als *Stadtmöbel* werden verfolgt. Übertragbare Konzepte aus offenen Bürolandschaften bieten hierfür neue wertvolle Impulse.

2 Schallemission und -immission im urbanen Gebiet

Der Straßenverkehr in Städten ist und bleibt der akustische Störenfried Nummer eins. Besonders betroffen sind davon die Hauptverkehrsadern, so dass in den angrenzenden Gebäuden nur geschlossene Schallschutzfenster für etwas Ruhe sorgen können. Für die »zweite Reihe«, also in Nebenstraßen und Innenhöfen, wirken diese Gebäude als bewohnte Lärmschutzwände. Die Hoffnung auf Ruhe wird dort vielfach dennoch nicht erfüllt. Ein Teil des Straßenlärms erreicht über mehrfache Reflexion an schallharten Fassaden und durch Hofeinfahrten auch den geschützten Bereich. Von der erwarteten Abschirmwirkung bis zu 30 dB bleiben an manchen Stellen nur noch 5 dB übrig.

Für die Bewertung der Schallimmissionen werden üblicherweise die Schallleistung und der Schalldruck herangezogen. Die Schallleistung gibt dabei die von einer Geräuschquelle ausgehende Schallenergie an, während der Schalldruck die oszillierende Veränderung des Luftdrucks an einem Immissionsort (Empfangsort) beschreibt. Diese Luftdruckschwankungen nehmen Menschen über das Ohr als Geräusche wahr. Um insbesondere letztere physikalisch messbare Größe der menschlichen Wahrnehmung anzunähern, werden sie über das logarithmische Maß Dezibel [dB] in einen Pegel umgerechnet. Die zusätzlich häufig angewendete A-Bewertung [dB(A)] korrigiert den tatsächlichen Schalldruck für eine gehörgerechtere Darstellung und berücksichtigt unter anderem die veränderte Wahrnehmung des Schalldruckpegels bei tiefen Frequenzen.

2.1 Lärmquellen

Die auf den städtischen Straßen verkehrenden Fahrzeuge emittieren insbesondere Antriebs- und Abrollgeräusche. Die Lärmbelastung ist dabei maßgeblich abhängig vom Verkehrsaufkommen. Das Aufheulen des Motors bspw. an einer Ampel oder das (starke) Abbremsen sowie das Hupen in Gefahrensituationen, ergänzen die charakteristische Klangeigenschaft des Verkehrslärms. Durch den Trend hin zur Elektromobilität verändert sich zwar der Charakter des Antriebsgeräuschs ganz grundsätzlich. Durch gleichbleibende Anteile wie Reifen-Abrollgeräusche sowie die Einführung eines Fußgängerwarnsystems (AVAS: „Acoustic Vehicle Alert System“) für jedes Fahrzeug, fällt die Geräuschimmission von Elektrofahrzeugen jedoch nicht weg.

Viele Innenstädte verfügen neben dem Straßenverkehr auch über ein Schienennetz. Lärm von Schienenfahrzeugen setzt sich neben dem Rollgeräusch aus den Geräuschen von Elektromotoren, der Bremsvorgänge und der Kurvenfahrt (Kurvenquietschen) zusammen. Zusätzlich entstehen beim Überfahren von Stellwerken, Gleisschwellen und Bahnübergängen, die für den städtischen Bahnverkehr charakteristischen Klangeigenschaften. Das dadurch sehr prägnante Geräusch des Schienenverkehrs wird durch die Zugänge in die Hinterhöfe getragen und nicht selten durch mehrfache Reflexionen an den schallharten Oberflächen von Gebäuden und Wegen sogar verstärkt.

In Innenhöfen kommen zum Verkehrslärm Geräusche durch startende und wartende Fahrzeuge (ca. 65 dB(A) Schalldruckpegel) hinzu. Der Ein- bzw. Ausparkvorgang von Fahrzeugen beinhaltet laut bayrischer Parkplatzlärmstudie das Geräusch des Ein- und Aussteigens, des startenden und im Leerlauf betriebenen Motors sowie Antriebs- und Rollgeräusche bei einer geringen Fahrgeschwindigkeit [2]. Zusätzlich können Geräuschquellen von Baustellen mit lautstarken Einzelereignissen sowie von Sport- und Spielstätten (ca. 70-90 dB(A)) auftreten. Aber auch Gespräche von Balkonen oder Restaurants und andere Alltagsgeräusche sorgen für eine ständige Geräuschkulisse.

Der durch (gewerbliche) Baustellen bedingte Lärm entsteht durch die Errichtung von Gebäuden, durch energetische Sanierungsarbeiten am Bestand sowie durch Abbrucharbeiten, um Platz für neue Wohnungen zu schaffen. Als Geräuschquellen sind dabei mittelschwere bis schwere Werkzeuge bzw. Werkzeugmaschinen wie Presslufthammer (ca. 90 dB(A)) und Baufahrzeuge (inkl. Be- und Entladen) zu nennen.

Verschiedene Spielstätten in Innenhöfen laden Kinder mit und ohne Begleitung durch eine Aufsichtsperson zum Spielen ein. Zum Teil gehören diese Spielstätten auch zu Betreuungseinrichtungen, wie Kindergärten (z. T. mit Ganztagsbetreuung). Die durch spielende Kinder entstehenden Geräusche werden für die meisten Anwohnenden nicht als Lärmbelästigung wahrgenommen. Auch aus rechtlicher Sicht wird »normaler« Kinderlärm nicht als Lärmbelästigung eingestuft, sofern er nicht »rücksichtslos« ist [3] [4]. Dennoch bietet der Klangcharakter kindlicher Stimmen oder von (nicht ausreichend gewartetem) Spielgerät, wie quietschende oder knarzende Schaukeln, ein Belästigungspotenzial. In der Form von Kleinsportanlagen, wie kleinen Ballsportfeldern oder Skateanlagen, verschärft sich die Situation, da der durch den Betrieb entstehende Lärm sehr intensiv sein kann. Auch Unterhaltungen und Musikdarbietungen in bzw. vor einem Restaurant oder auf einem Balkon können subjektiv belästigend wahrgenommen werden. Dennoch trägt gerade die Vielfalt an sportlichen und kulturellen Freizeitangeboten auch zur Attraktivität der Stadtumgebung bei.

Eine weitere Lärmquelle kann die Entsorgung von häuslichen Abfällen darstellen: Insbesondere Altglassammelbehälter begünstigen bei Einwurf von Glasbehältern, begründet durch ihre Bauart, die Abstrahlung von Schallwellen über ihre Blechwände (bis zu 100 dB(A)). Zusätzlich entsteht bei der Leerung voller Sammelbehälter eine zwar temporäre, aber hohe Lärmbelastung.

Tiere stellen ebenfalls eine Geräuschquelle im urbanen Umfeld dar. So kann Hundegebell durchaus belästigend wirken. Das dazu passende Zitat von Tucholsky »*Der eigene Hund macht keinen Lärm, er bellt nur*« [5] unterstreicht dabei den Stellenwert der subjektiven Beurteilung von Geräuschen in Bezug auf ihre Wirkung.

2.2 Lärmwirkung

Schall wird zu Lärm, sobald er unerwünscht ist. Insbesondere dann, wenn Schallereignisse nicht nur unerwünscht sondern auch noch dauerhaft und laut sind, können sie belästigend wirken. In besonderem Maße gilt dies für tonale, intermittierende und informationshaltige Geräusche. Das Geräusch einer Mücke, die nachts im Schlafzimmer umherfliegt, wirkt trotz eines geringen Schalldruckpegels nicht selten störend auf die Personen ein. Hinzu kommen temporäre, impulshafte Geräusche, die, je nach Schalldruckpegel, eine überraschende bzw. erschreckende Wirkung haben können. Dazu kann bspw. ein Autounfall, der Einwurf von Altglas in Sammelbehälter oder Hundegebell zählen.

Schließlich wirkt sich auch die Dauerbelastung durch einen konstant erhöhten Immissionspegel gesundheitlich auf den Menschen aus. Physische sowie psychische Auswirkungen auf den Menschen konnten bereits nachgewiesen werden [6] [7]. So begünstigt Lärm laut den Leitlinien von 2019 der WHO körperliche und geistige Erkrankungen, wie Herz-Kreislaufkrankungen und Depressionen. Diese Krankheitsbilder zu bekämpfen ist allein Motivation genug, der Lärmbelastung grundsätzlich entgegenzuwirken.

2.3 Lärmschutzmaßnahmen

Um die Bevölkerung vor Lärm zu schützen, werden sowohl aktive (direkt an der Schallquelle) als auch passive (auf dem Ausbreitungsweg) Schallschutzmaßnahmen ergriffen. Die Abschirmung von Geräuschquellen durch die Gebäude an sich oder zusätzliche Wände stellt eine sehr effektive passive Maßnahme dar (Minderung des Immissionspegels um bis zu 30 dB). Lärmschutzwände können transparent oder transluzent ausgeführt werden, sodass sie Sicht- oder Lichtverhältnisse nur wenig beeinflussen. Es ist auch möglich opake Lärmschutzwände zu begrünen oder mit Hilfe von *Biophilic Design* natürlich wirken zu lassen, um Zusatzeffekte ausgehend von Pflanzen auszunutzen (Steigerung der Behaglichkeit, Verbesserung des Mikroklimas). Gabionen gefüllt mit Lavasteinen sind eine weitere effektive Methode für optisch ansprechenden Lärmschutz bei gleichzeitiger hoher Resistenz vor Vandalismus.

Die Auskleidung von Fassaden und Balkonen mit schallabsorbierendem Material bildet eine passive Schallschutzmaßnahme am Gebäude und führt zu einer Reduzierung der verbleibenden Lärmbelastung in der direkten Umgebung. Physikalisch betrachtet erfolgt dabei eine Umwandlung der auf einer absorbierenden Fassade auftreffenden Schallenergie in Wärme. Die Schalllenkung durch gezielt ausgerichtete Bauteile, stellt eine weitere mögliche Maßnahme dar, wobei Schallwellen, vergleichbar mit Lichtstrahlen in einem Spiegel, gezielt abgelenkt werden.

Eine erweitertes »aktives« Konzept gegen Verkehrslärm und für eine erhöhte, urbane Lebensqualität hat die katalanische Hauptstadt erarbeitet: Barcelona hat im *Urban Mobility Plan* (2013-2018) ein Konzept vorgestellt, nachdem für die Bewohner mehrerer Gebäudeblocks, insbesondere durch die Beruhigung bzw.

Verlagerung des Straßenverkehrs, ein angenehmeres Umfeld geschaffen wird. Das oberste Ziel ist dabei die Reduzierung von Luftverschmutzung und Lärm, ausgehend vom Straßenverkehr. Dieser organisatorische Metaansatz mit dem Namen »Superblocks« basiert darauf, den internen Verkehr von PKW und LKW zu minimieren. Dies geschieht durch eine Begrenzung der Maximalgeschwindigkeit auf 10 km/h sowie einer Verbauung direkter Durchgangswege. Ein Superblock besteht dabei aus je neun einzelnen Gebäudeblöcken. Es entstehen Boulevards und Sozialräume, in denen sich die Bevölkerung zu Veranstaltungen, zum Einkauf oder zum Spielen aufhalten kann. Neben dem Immissionsschutz werden damit zusätzlich die soziale Aspekte des Stadtlebens gefördert [8] [9].

Auch wenn es durch Maßnahmen wie die in Barcelona nachweislich gelingt, den Verkehrslärm zu reduzieren, bleibt die Frage: Welche (urbane) Geräuschkulisse wird von der Bevölkerung bevorzugt und akzeptiert? Dabei stehen alle potenziellen Schallquellen miteinander in Verbindung und bilden in der Umgebung eine gemeinsame Geräuschkulisse bzw. Klanglandschaft (Soundscape). Frühere und aktuelle Studien zeigen, dass die typischen Geräuschquellen in drei Kategorien eingeteilt werden können: Natürliche, vom Menschen gemachte und mechanische Geräusche. Eine Geräuschkulisse wurde im Rahmen dieser Studien dann als bevorzugt bewertet, wenn die natürlichen Geräuschquellen (Vögel, Wasser, Wind, Insekten, etc.) dominieren. Die Kategorie der mechanischen Geräusche (Verkehr und Bau) stieß dagegen bei den Befragten eher auf Ablehnung [10] [11]. Durch den Aufbau einer bevorzugten Geräuschkulisse kann also die Akzeptanz der Bevölkerung für ein Gebiet gesteigert werden. Als Beispiel ist dafür das natürliche Geräusch von fließendem Wasser in einem (künstlichen) Brunnen zu nennen, welches andere belästigende Geräusche maskiert und gleichzeitig durch einen natürlichen Ursprung eine erhöhte Akzeptanz genießt. Eine aktiv naturverbundene Gestaltung ist demnach aus akustischen Gesichtspunkten anzustreben.

2.4 Gesetze und Verordnungen

Um dem Lärm und dessen Folgen zu begegnen, existieren Immissionsschutzvorgaben. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [12] ist für den Lärmschutz maßgebend und verfolgt den Zweck »... Menschen, Tiere und Pflanzen ... vor schädlichen Umwelteinwirkungen ... zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen«.

Für die Einhaltung des BImSchG regeln weitere Verordnungen die einzelne Teilbereiche des Lärmschutzes (Insbesondere: 16., 18., 24., 32., 34. BImSchV). Sie definieren Anwendungsbereiche, maßgebliche Grenzwerte, Vorschriften zur Datenerhebung sowie allgemeine und spezielle Begriffe der jeweiligen Anwendungsfälle. Mit diesen Verordnungen können fast alle innerstädtischen Geräusche beschrieben und beurteilt werden. Eine Ausnahme stellt dabei der Baulärm dar, da eine Baustelle im Sinne des BImSchG keine genehmigungsbedürftige Anlage darstellt. Diese Ausnahme regelt § 22 des BImSchG.

Für die Beurteilung von Schallimmissionen, z. B. nach TA Lärm [13], wird der über eine Mess- bzw. Beobachtungszeit gemittelte Schalldruckpegel herangezogen. Die Dauer, über die der Schalldruckpegel gemittelt wird, bezieht sich dabei auf Tag- oder Nacht-Zeiten (6:00 Uhr bis 22:00 Uhr bzw. 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr). Der so ermittelte äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} (L_{eqTag} bzw. $L_{eqNacht}$) bildet dann für den jeweiligen Zeitraum unter Berücksichtigung von Zuschlägen in Abhängigkeit von Auffälligkeiten des jeweiligen Geräuschcharakters (Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit, Informationshaltigkeit) einen Beurteilungspegel (L_{rT} bzw. L_{rN}). Dieser ist maßgebend für die Einordnung und Bewertung der Schallimmission im Kontext von Gesetzen und Vorgaben.

3 Beispiel-Areal: Innenhof, Stuttgart-West

Unter Anwendung der im vorangehenden Kapitel beschriebenen Grundlagen werden nun am Beispiel eines ausgewählten Areals mit mehreren Innenhöfen im Stuttgarter Stadtteil West mögliche Schallschutzmaßnahmen diskutiert.

Das Areal (siehe Bild 1) liegt nördlich der Schloßstraße, einer Hauptverkehrsstraße in Stuttgart-West. Eingerahmt wird es westlich durch die Senefelder-, nördlich durch die Breitscheid- und östlich durch die Johannesstraße. Zu erwähnen, aber aus akustischer Sicht nicht von Bedeutung, ist, dass das Areal ca. 270 m über dem Meeresspiegel liegt. Nennenswerte Steigungen mit oder ohne einem akustischen Einfluss auf das Areal sind nicht vorhanden. 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.

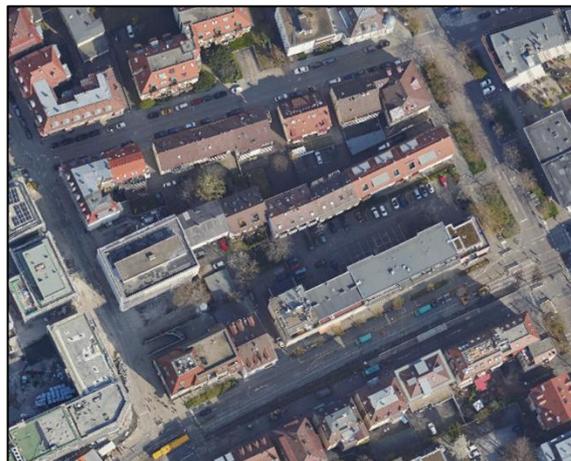


Bild 1:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West [Stadt Stuttgart].

Zur Erfassung der aktuellen Situation wurden mehrere Begehungen des Areals fotografisch und durch akustische Messungen dokumentiert. Die Messungen werden schließlich in ein computergestütztes Verfahren zur Prognose der Schallimmissionen im Areal integriert.

3.1 Straßen und Schienen

Die Schloßstraße südlich des Areals ist eine der Hauptverkehrsstraßen im Stadtteil West. Das Verkehrsaufkommen durch den zweispurigen Straßenverkehr lässt sich mit ca. 5000 Fahrzeugen pro Stunde abschätzen. Das Areal ist westlich, nördlich und östlich durch drei verkehrsberuhigte Straßen umgeben (Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h). Im Vergleich dazu ist in der Schloßstraße eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h erlaubt. Die Stadtbahnen verkehren über die Schloßstraße laut Verkehrsministerium Baden-Württemberg mit täglich ca. 500 Stadtbahnen am Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und ca. 100 Stadtbahnen bei Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) mit einer Geschwindigkeit von bis zu 50 km/h.

3.2 Parkplätze

Insbesondere im südöstlichen Innenhof des Areals sind viele Parkplätze zu finden (siehe Bild 2, blaue Flächen). Sie bieten Platz für die Fahrzeuge der Anwohnenden und Berufstätigen. Auffällig ist dabei, dass die Stellplätze zum Teil zweireihig hintereinander ausgewiesen sind. 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 (z. B. ein Container oder eine »Fertiggerage« , siehe Bild 2) an, deren schallharten Oberflächen den Schall reflektieren.



Bild 2:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau) und Beispielsbildern [Stadt Stuttgart, IBP].

3.3 Grünanlagen

Die in Bild 3 angedeuteten Grünanlagen (grüne Flächen) bestehen aus einzelnen Bäumen und Hecken unterschiedlicher Höhen. Zu unterscheiden sind dabei

wild bewachsene Gebäudeteile (Bild 3 a), Hecken, die als Abgrenzungen zu Zugängen dienen (Bild 3 b), und eine gepflegte Gartenanlage (Bild 3 c). Die vorhandenen Grünflächen dienen bereits heute dem lokalen Mikroklima des Innenhofes. Die Grünflächen speichern Regenwasser und verringern den Anstieg der Umgebungstemperatur. Im Gegensatz zu ländlichen Gebieten mit weniger dichter Bebauung, speichern durch die Sonne aufgeheizte Fassaden und versiegelte Flächen in den Städten die Wärme, was einen kontinuierlichen Temperaturanstieg nach sich zieht.

Zusätzlich entstehen durch Grünanlagen Lebensräume für kleinere Tiere, wie Vögel, deren natürliche Geräusche nachweislich eine bevorzugte Geräuschkulisse entstehen lassen. 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. Der Ausbau dieser Grünflächen ist also aus mehrfacher Sicht erstrebenswert.

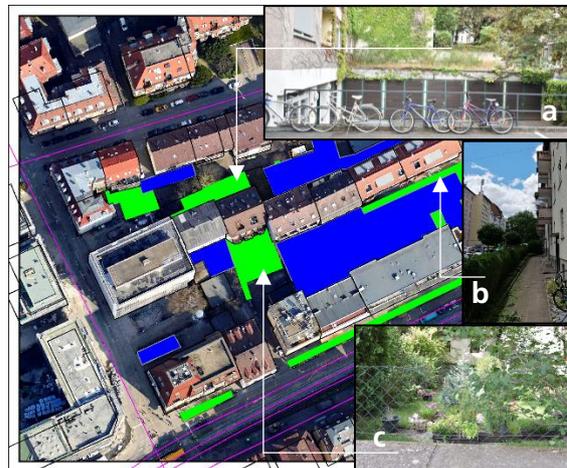


Bild 3:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün) und Beispielbildern [Stadt Stuttgart, IBP].

3.4 Gebäude

Die Gebäude des Areals sind zwischen ca. 3 m und ca. 20 m hoch. Die niedrigsten Gebäude bilden dabei freistehende Garagen. Das Baujahr einzelner Gebäude liegt schätzungsweise Anfang des 20. Jahrhunderts, während die meisten Gebäude zwischen den 50er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts gebaut wurden. Der Zustand der Gebäude ist grundsätzlich untereinander vergleichbar, wobei zwei Gebäude eine Ausnahme darstellen. Bild 4 a zeigt das nahezu vollständig neu gestaltete Objekt in der Senefelderstraße. Der während der Sanierung erzeugte Baulärm konnte während der Begehung aufgezeichnet werden. Bild 4 b zeigt dagegen ein altes und leicht verfallenes Gebäude. Durch den Abriss solcher Gebäude entstehen neue Nutzungspotenziale, die beispielsweise

durch die Erweiterung von Grünflächen erschlossen werden können.

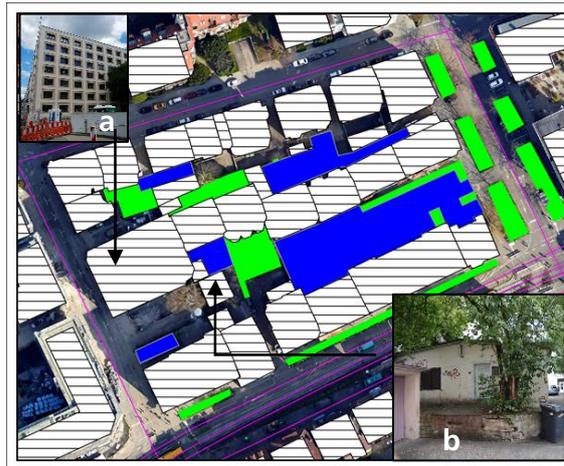


Bild 4:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün), Gebäuden (weiß) und Beispielbildern [Stadt Stuttgart, IBP].

Die Fassaden der Gebäude bestehen aus unterschiedlichen Komponenten (siehe Bild 5). 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.



Bild 5:
Beispielhafte Fotografien der Fassaden mit Fenstern und Balkonen [IBP].

3.5 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. Er ist ca. 4 m breit und ca. 4 m hoch. Bild 6 zeigt beispielhaft den Tunnel (a) und einen Durchgang (b).

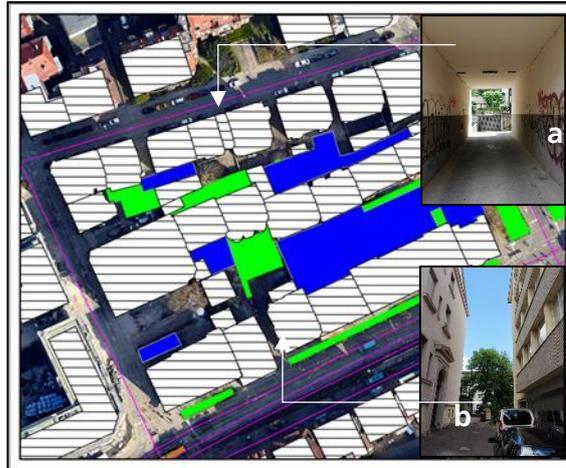


Bild 6:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün), Gebäuden (weiß) und Beispielbildern von Durchgängen und Tunnel [Stadt Stuttgart, IBP].

3.6 Schallimmissionsmessung

Im Beispiel Areal in Stuttgart-West 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. Eine detaillierte Darstellung der Messergebnisse der einzelnen Schallquellen sind als frequenzabhängige Schalldruckpegelverläufe im Anhang A zu finden (unter Angabe der Messpositionen). Der frequenzabhängige äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{freqMess} wird durch das Messgerät über die Messdauer berechnet (siehe Tabelle 1, vgl. TA Lärm A.2.5.1). Die im Folgenden angegebenen gemessenen Gesamt-Schalldruckwerte L_{eqMess} entsprechen der Summe der frequenzabhängigen Schalldruckpegel der jeweiligen Schallquelle in dB(A), gemessen über den Frequenzbereich von 6,3 Hz bis 20 kHz (in Terzbandbreite) mit dem Messgerät Nor140 (Norsonic).

Tabelle 1:
Übersicht über durchgeführte Messungen, Messdauern und äquivalente Dauerschalldruckpegel.

Messung	Dauer [s]	L _{eqMess} [dB(A)]
Durchgang mit Fahrzeug	17	59,4
Durchgang mit Moped	21	64,3
Großer Parkplatz	70	47,5
Klimaanlage Tiefgarage	26	60,6
Stadtbahn Schloßstraße	21	71,9
Stadtbahn Kurvenquietschen	15	69,6
Kindergarten	42	56,5
Rutschauto	10	67,6
Baustelle Bohrer	41	57,6
Baustelle Hammer	34	36,1

Aus akustischer Sicht sind unter anderem die Bereiche im Areal von besonderem Interesse, die einen Schalleintrag des Verkehrslärms in den Innenhof ermöglichen. Der daher beispielhaft im Tunnel (Bild 6 a) gemessene Schalldruckpegel eines PKWs liegt bei ca. 59 dB(A), der eines Mopeds bei ca. 64 dB(A). Auffällig ist, dass der Schalldruckpegel des Mopeds bei tieferen Frequenzen (bis ca. 600 Hz, siehe Anhang) um bis zu 10 dB(A) höher liegt. Er stellt damit in diesem Frequenzbereich eine tendenziell erhöhte Lärmbelastung dar. Innerhalb dieser Gebäudelücken kommt es, bedingt durch ihre schallhart ausgekleideten Wände bzw. Decken, zu Mehrfachreflexionen und somit zu einer Erhöhung der Geräuschimmission in den jeweiligen Innenhöfen. Hier könnten schallabsorbierend ausgekleideten Fassaden des Tunnels den eindringenden Verkehrslärm reduzieren.

Die beschriebene Parkplatzsituation bildet eine Geräuschquelle innerhalb des Areals. Während des Ortstermins war der Schalldruckpegel, bedingt durch fehlende Parkbewegungen, mit ca. 48 dB(A) unauffällig.

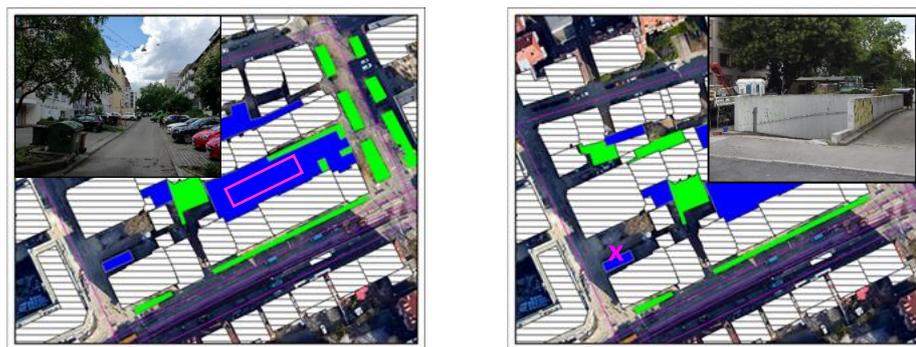


Bild 7:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün), Gebäuden (weiß), Beispielbildern der Parkplätze und beispielhafte Positionen (magenta) der Schallquelle Parkplatz (links) und der Klimaanlage der Tiefgarage (rechts) [Stadt Stuttgart, IBP].

Aus akustischer Sicht wirkt die Tiefgaragenzufahrt im südwestlichen Teil des Areals ähnlich einer Tunnelausfahrt. Dabei führen Mehrfachreflexionen an Boden, Decke und Wänden der Ausfahrt zu einer Erhöhung des Schalldruckpegels. Neben ein- und ausfahrender Fahrzeuge emittiert die Klimaanlage der Tiefgarage durchgehend ein monotones, tonhaltiges Geräusch. Das Resultat dieser Messung sind 61 dB(A), die bereits ohne jegliche Fahrzeugbewegung ausgehend von der Tiefgarage emittiert werden (siehe Bild 7, rechts).

Der Schalldruckpegel einer vorbeifahrenden Stadtbahn betrug während der Messung ca. 70 dB(A), gemessen im Abstand von ca. 10 m außerhalb des Areals an den Bahnschienen. Durch Ampelanagen an den Bahnhaltstellen, den Kreuzungen sowie durch Haltestellen selbst ergeben sich typische An- und Abfahrgeräusche des Schienenverkehrs. Auffällig sind die Pegelüberhöhungen durch »Kurvenquietschen« bei ca. 400 Hz, 1100 Hz und 4000 Hz (siehe Anhang). Der tonale Klangcharakter stellt ein hohes Belästigungspotenzial dar und wird deswegen nach TA Lärm bei der Bildung des Beurteilungspegels um bis zu 6 dB höher beaufschlagt.

Das vorgestellte Areal beherbergt zwei Kindergärten. Am Kindergarten in der Johannesstraße konnte messtechnisch der Schalldruckpegel spielender Kinder mit 57 dB(A) erfasst werden. Separat dazu ergab die Messung eines Rutschautos (Bobbycar) einen Schalldruckpegel von über 67 dB(A). Beide Geräuschquellen sind ihrer Art und Lautstärke nach typisch für den Außen- bzw. Spielbereich von Kindergärten.

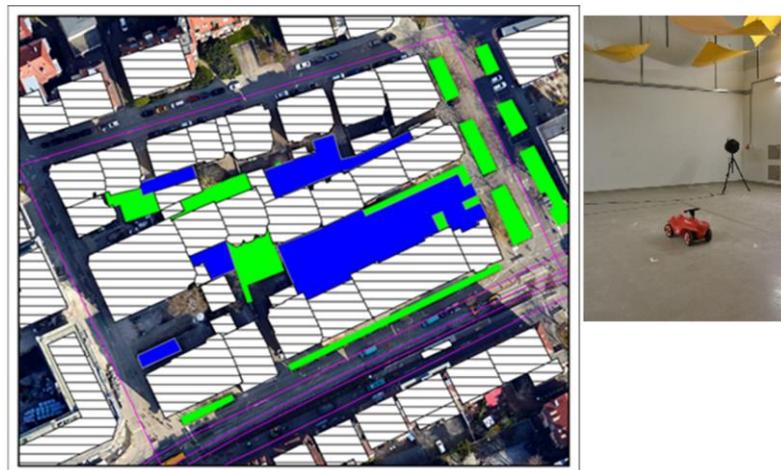


Bild 8:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün), Gebäuden (weiß), beispielhafte Positionen (magenta) der Schallquelle Kindergarten und Rutschauto (rechts, Aufnahme im Hallraum) [Stadt Stuttgart, IBP].

Am schallharten Mauerwerk rund um den Spielbereich des Kindergartens in der Johannesstraße, wird der Schall reflektiert und nach oben gelenkt. Die Geräusche breiten sich oberhalb der Mauern im Innenhof frei aus und werden von

den angrenzenden Gebäudefassaden zurückgeworfen. Schallabschirmende und -absorbierende Maßnahmen können hier den Schallimmissionspegel verringern. Das bei vielen Kindern beliebte Rutschauto kann, wenn die Bereifung aus hartem Plastik besteht, mit mehr als 65 dB(A) einen normalen Pkw im Leerlauf übertönen – mit den optional erhältlichen »Flüsterreifen« sind es im Mittel immerhin fast 10 dB(A) weniger, wie Vergleichsmessungen am IBP ergeben haben.

Während der Begehung des Areals bestand eine Baustelle an der Senefelderstraße. Die Geräusche, hervorgerufen durch die Arbeit mit einer Schlagbohrmaschine und mit einem Hammer, sind vor Ort pegelbestimmend und als belästigend einzuordnen. Die Messung des Schalldruckpegels von ca. 60 dB(A) erfolgte nicht direkt an der Schallquelle, sondern im Abstand von ca. 50 m hinter Bäumen im Innenhof. Typischerweise kann bei vergleichbaren Arbeiten direkt an der Schallquelle ein Schalldruckpegel von ca. 90 dB(A) gemessen werden.

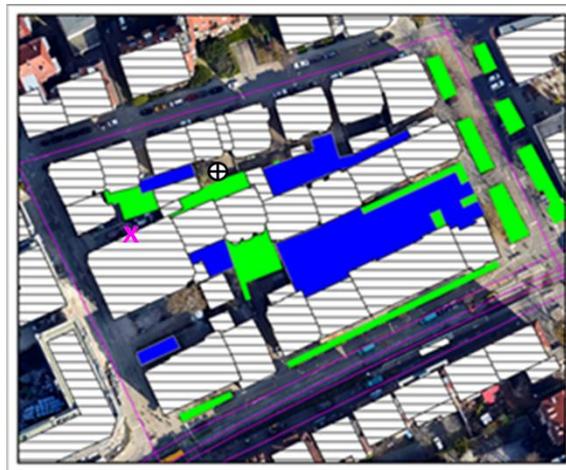


Bild 9:
Satellitenaufnahme des Beispiel-Areals in Stuttgart-West mit Parkplätzen (blau), Grünflächen (grün), Gebäuden (weiß), beispielhafte Positionen (magenta) der Schallquelle Baustelle sowie der Messposition (schwarzes Kreuz) [Stadt Stuttgart, IBP].

4 Aufbau und Eingangsdaten des digitalen Berechnungsmodells

Für den Aufbau des Berechnungsmodells sind einige theoretische Annahmen zu treffen, die das Ziel haben, den Aufwand für die Gewinnung der Eingangsdaten und die Parametrierung des Modells möglichst effizient zu halten, aber gleichzeitig die prinzipiellen Aussagen und Lösungsvorschläge so praxisgetreu und allgemeingültig wie möglich erarbeiten zu können.

Für die Prognose von Schallimmissionen wird die Software SoundPlan® (Version 8.2) verwendet. Durch eine geeignete Schnittstelle werden (3D-) Stadt- oder Landschaftsmodelle importiert. Durch das Einfügen typischer Geräusch-

quellen wird die Schallausbreitung unter Berücksichtigung von relevanten Normen und Vorschriften simuliert. Im Folgenden wird zunächst auf den Aufbau des digitalen Stadtmodells eingegangen. Anschließend wird die Integration und Parametrierung der (gemessenen) Schallquellen und die Visualisierung beschrieben.

4.1 Objekte

Das Modell für die Schallausbreitungsberechnung lässt sich alleine durch drei Objekte beschreiben: Punkte, Linien und Flächen. Diese werden durch eine entsprechende Klassifizierung in Objekttypen, wie Gebäude, Straßen, Grünanlagen, Parkplätze, Schallquellen, oder Höhenpunkte. Den Objekttypen wiederum sind dann gemäß ihres Typs Parameter, wie Stockwerkhöhen, Schallabsorptionsverhalten oder bei Parkplätzen die Anzahl von Parkbewegungen, zuzuweisen. Der Detaillierungsgrad der Bebauung »Level of Detail« (LoD) wird in drei Stufen unterteilt, wobei das im Folgende näher beschriebene OpenStreetMap-Modell über einen Detaillierungsgrad von LoD 1 verfügt (Gebäude in Form von »Klötzen«). Die Grünanlagen können mit dem Objekttyp »Bodeneffekte« modelliert werden. Der wählbare Wert ist der Faktor G zur Beschreibung der Beschaffenheit des Bodens (zwischen $G = 0 =$ schallhart und $G = 1 =$ schallweich). Für das digitale Berechnungsmodell wird ein Bodenfaktor von $G = 0,6$ angenommen.

Das verwendete Datenformat basiert auf dem Projekt OpenStreetMap (OSM), welches frei zur Verfügung stehende Geodaten sammelt (Open Data Commons, Open Database Lizenz (ODbL)). Es ist in der Anwendung vergleichbar mit Google Maps. OSM-Modelle können für Simulationsberechnungen in SoundPlan® verwendet werden. Die Datenstruktur basiert auf dem XML-Format und die Schnittstelle zu den Objekttypen und -eigenschaften von SoundPlan® ist eindeutig definiert. Allerdings verfügen die OSM-Daten über keine Vermessungsdaten von einer offiziellen (staatlichen) Stelle. Dies kann zu minimalen, aber für dieses Projekt vernachlässigbare Abweichungen im Vergleich zu offiziellen Daten führen, die bspw. von einer Stadtverwaltung zur Verfügung gestellt werden. OSM-Modelle bieten im Vergleich zu DXF und CityGML-Daten den maßgeblichen Vorteil, dass (nahezu) alle Objekttypen mit geringem Konvertierungsaufwand mit Eigenschaften oder Schallquellenparametern versehen werden können. Daher wird auf die OSM-Daten als Datengrundlage für das Beispiel-Areal zurückgegriffen. Der Import der Daten ist im Handbuch zur Software beschrieben. Im Folgenden wird daher nur auf die für das Projekt relevanten Objekttypen eingegangen. Durch die Verwendung des OSM-Modells sind viele der Objekte bereits nahezu vollständig parametrisiert, was einen schnellen Start in eine inhaltliche und zielorientierte Bearbeitung von Lösungsvorschlägen ermöglicht.

4.2 Schallquellen

SoundPlan® berechnet aus den Angaben zur Schalleistung L_w einer Quelle die äquivalenten Dauerschalldruckpegel L_{eq} in der Umgebung sowie daraus abgeleitete Beurteilungspegel L_r einer Schallquelle. Ausgehend von den akustischen Messungen des Verkehrs an der Straße außerhalb des Areals, im Tunnel, am Kindergarten, eines Rutschautos und der Baustelle vor Ort werden Schallleistungspegel abgeleitet und in das Berechnungsmodell integriert. Darauf folgt die Berechnung äquivalenter Dauerschalldruckpegel. Die zusätzlich ermittelten Beurteilungspegel werden berechnet, aber durch eine im Folgenden näher beschriebene Modifikation auf die Fragestellung des Vorhabens angepasst.

Als Punktschallquellen sind die Messungen der Schallquellen in das digitale Modell einzutragen, die örtlich stark begrenzt und während der Schallexposition nahezu unbewegt sind. Der Schall breitet sich dabei näherungsweise kugelförmig um die Position in die Umgebung aus. Dazu zählen die besprochenen Schallquellen Kindergarten, Rutschauto, Baustelle und Klimaanlage der Tiefgarage.

Der Verkehrslärm wird als Linienschallquelle modelliert. Die SoundPlan® Bibliothek stellt dazu ein typisches Frequenzspektrum für Verkehrslärm bereit [14]. Die 16. BImSchV beinhaltet ein Frequenzspektrum für Oberflurbahnen, welche in der Schloßstraße verkehren. Die Schallausbreitung des Verkehrslärms folgt der Form eines Halb-Zylinders entlang der Linie.

Die Flächenschallquellen sind im Beispiel-Areal die Parkplätze. Für die Parametrierung wird die bayrische Parkplatzlärmstudie von 2007 zu Grunde gelegt, da sie auf Basis der DIN 18005 Teil 1 eine detailliertere Parkplatzlärmrechnung ermöglicht und durch SoundPlan® zur Verfügung gestellt wird [15]. Darin wird von einem Schallleistungspegel von 63 dB(A) pro Stellplatz und Parkbewegung ausgegangen. Durch Zuschläge für impulshaltige Anteile, wie das Öffnen und Schließen der Fahrzeugtüren (4 dB(A)), und für den Bodenbelag, wird der Schallleistungspegel nach oben korrigiert. Der Bodenbelag besteht aktuell aus einer Mischung von Natursteinpflaster und an mehreren Stellen ausgebesserter Asphalt, weshalb hierfür ein weiterer Zuschlag von 3 dB(A) anzusetzen ist. Bei einer Anzahl von bis zu drei Parkbewegungen gleichzeitig ist mit einem Schallleistungspegel von knapp 75 dB(A) zu rechnen.

Für die hier durchgeführten Untersuchungen mit Momentaufnahmen der Geräuschsituationen ist es zielführend, dies auch für die Berechnungen zu übernehmen. Auf diese Weise kann der Einfluss der in Kapitel 5 untersuchten akustisch wirksamen Maßnahmen auf die gemessenen Einzelereignisse bewertet werden. Dafür wird die Schallquelle mit den frequenzabhängigen gemessenen Schalldruckpegelwerten beaufschlagt. SoundPlan® berechnet unter Berücksichtigung von normierten Berechnungsverfahren, z. B. aus der TA Lärm, äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} (bzw. ein Beurteilungspegel) für Tag- oder Nachtstunden. Ein zeitlich stark begrenzt auftretendes Schallereignis, welches

bspw. die sonst vorherrschende Ruhe durchbricht, würde also in der Berechnung kaum auffallen. Da die Auswahl von SoundPlan® auf diese Art Berechnungsvorschriften und Zeiträume begrenzt ist, muss bei der Parametrierung auf die folgende Modifikation zurückgegriffen werden.

Für die korrekte Einstellung des Schallleistungspegels der Schallquelle im Simulationsmodell wird der L_{eq} an der Position IP (Immissionspunkt) berechnet, an der die Messung vor Ort durchgeführt wurde. Als einheitliche Auftrittshäufigkeit wird ein Ereignis pro Stunde (1/h) über 24 h angesetzt. Um den gemessenen Schalldruckpegel am IP einzustellen, ist schließlich der Schallleistungspegel der Schallquelle zu parametrieren. Da der Straßen- und Schienenverkehr der Schloßstraße messtechnisch nicht komplett erfasst werden konnte, wird hier der Schalldruckpegel der an der Straße liegenden Fassaden (ca. 70 dB(A)) aus der Lärmkartierung der Stadt Stuttgart von 2017 als Referenz herangezogen.

Der so berechnete äquivalente Dauerschalldruckpegel L_{eq} entspricht durch die Anpassung der Schallleistungspegel der Quellen dem L_{eqMess} an den Messpositionen. So kann über die in Kapitel 5 beschriebenen Maßnahmen eine konkretere Aussage über ihre Auswirkung auf die Einzelereignisse getroffen werden, als sie mit einer Mittelung der Schalldruckpegel während eines ganzen Tages möglich wäre. Der dabei berechnete Schalldruckpegel wird zur besseren Differenzierung mit $L_{eqEE} = L_{eqT}$ (EE = Einzelereignis) bezeichnet, wobei zur Vereinfachung zunächst auf geräuschespezifische Aufschläge zur Bildung eines Beurteilungspegels L_{rEE} verzichtet wird.

4.3 Immissionsberechnung

Nach dem Aufbau und der Parametrierung des digitalen Modells wird die Berechnung der Schallimmissionen durchgeführt. Dazu stehen unter anderem die Berechnung einzelner Immissionspunkte und die einer Rasterkarte zur Verfügung. Ein übergeordneter Parameter ist dabei die Anzahl von Schallreflexionen, die bei der Berechnung berücksichtigt werden sollen. Da der Energieinhalt von Schallwellen mit zunehmender Anzahl an Reflexionen abnimmt, ist der Einfluss auf das Berechnungsergebnis ab einer Anzahl von 3 bis 4 Reflexionen nur noch sehr gering. Für die vorliegenden Untersuchungen wird deshalb die Anzahl der Reflexionen mit $R = 3$ ausgewählt.

Mit einer Rasterkarte wird die Schallausbreitung in einer Fläche oder Ebene visualisiert. Für die Berechnung von L_{eqEE} in jeder Zelle der Rasterkarte wird eine Rastergröße von Immissionspunkten bestimmt. Für die vorliegenden Untersuchungen wird eine Rastergröße mit einer Kantenlänge von $L = 5$ m in einer Höhe von $h = 2$ m festgelegt. Die Rasterkarte visualisiert die Schallimmissionen im Rechengebiet anhand von Farben (grün = gering, blau = hoch). Eine Differenz zweier Rasterkarten (Differenzrasterkarte) zeigt dementsprechend farbig und direkt ersichtlich (grün = Reduzierung, rot = Erhöhung) die Auswirkungen der modellierten Schallschutzmaßnahmen.

5 Untersuchung von Schallschutzmaßnahmen

Mit Hilfe des entwickelten digitalen Modells des Beispiel-Areals in SoundPlan®, werden im Folgenden verschiedene Maßnahmen zur akustischen Optimierung der Innenhöfe im Areal erarbeitet und diskutiert. Der Fokus liegt dabei auf gestalterischen sowie baulichen Maßnahmen an und auf Freiflächen (Grünflächen, Parkplätze), dem Einsatz von schallabsorbierenden Materialien zur Reduktion der Schallreflexionen sowie Elementen zur Abschirmung zu schützender Bereiche gegen Lärm.

5.1 Analyse der Ausgangssituation

Zur Bewertung der Situation im Ausgangszustand wird zunächst eine Schallausbreitungsberechnung mit allen beschriebenen und zum größten Teil gemessenen Schallquellen im möglichst originalgetreu modellierten Areal durchgeführt. Die Ergebnisse in Form von Rasterkarten (zur farblichen Darstellung der Lärmverteilung) und Immissionspunktberechnungen (für die Darstellung der Schallpegel an ausgewählten Orten) dienen als Referenz. Durch den Vergleich der Ergebnisse, die anschließend mit akustisch wirksamen Maßnahmen berechnet werden, kann eine Wirkungsabschätzung anhand der Differenzrasterkarte folgen.

Dabei wird der Fokus auf eine Momentaufnahme der Geräuschkulisse gelegt. Bild 10 zeigt die Ergebnisse als Rasterkarte. An den Positionen, an denen bei der Begehung vor Ort Messungen durchgeführt wurden, sind die berechneten Schalldruckpegel in [dB(A)] in einer Höhe von 1,5 m eingetragen. Die Berechnungsergebnisse stimmen bis auf 0,5 dB(A) mit den einzelnen Messwerten überein, wobei in der Gesamtsimulation größere Abweichungen durch die Überlagerung von mehreren Schallimmissionen entstehen.



Bild 10:
Rasterkarte mit Immissionspunkten zur Beschreibung der akustischen Ausgangssituation im Beispiel-Areal (Gebäuden durch Grundlinie skizziert).

Außerhalb des Areals fallen die Schloßstraße und die Breitscheidstraße als Geräuschquellen mit bis zu 81 dB(A) (dunkelroter Bereich, ca. 70 dB(A) an der Fassade) auf. Dabei ist nur andeutungsweise ein Eintrag des Verkehrslärms in den Innenhof zu erkennen.

Innerhalb des Areals sind die Parkplätze mit gut 67 dB(A) maßgeblich für die Lärmbelastung, was auf Basis der Berechnungsvorgaben aus der Parkplatzlärmstudie und des angenommenen Schalleistungspegels (siehe Abschnitt 0) im direkten Umfeld der Fahrzeuge (ca. 1 m Abstand) als realistisch eingeordnet werden kann. Besonders hervorzuheben ist die Baustelle als Lärmquelle, die am Ort der Bauarbeiten über 85 dB(A) erreichen kann (violetter Bereich). Damit stellt die temporäre Baustelle das größte Belästigungspotenzial innerhalb des Areals dar und bestätigt den subjektiven Eindruck, der vor Ort gewonnen werden konnte.

5.2 Akustisch wirksame Konzepte im Beispiel-Areal

Ausgehend von den Simulationsergebnissen der Ausgangssituation werden im Folgenden gezielt Maßnahmen vorgestellt, die die Ruhe in den einzelnen Innenhöfen fördern. Schallschutzmaßnahmen an den Gebäuden, in den Durchgängen und eine veränderte Flächennutzung sind dabei von wesentlicher Bedeutung. Differenzrasterkarten visualisieren die Effekte auf die Akustik in den betrachteten Innenhöfen. Die im folgenden vorgestellten Maßnahmen und Konzepte verfolgen das Ziel, die Akustik in den Innenhöfen zu verbessern. Für die Modellierung wurden realistische Annahmen getroffen. Aspekte, wie bspw. die

Sicherstellung von Zufahrtswege der Feuerwehr oder für Instandhaltungsmaßnahmen, wurden soweit möglich berücksichtigt, sind jedoch nicht Teil der untersuchten Konzepte.

5.2.1 Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden

Der Schallschutz an Gebäuden betrifft im hier beschriebenen Fall den Einsatz von Elementen mit einem hohen Schallabsorptionsgrad α , z. B. als Teil der Fassade oder der Balkone. Materialien oder Absorberflächen mit einem Schallabsorptionsgrad von $\alpha = 1$ absorbieren die auf dem Bauteil auftreffende Schallleistung vollständig. Die Schallenergie wird dabei in Wärme umgewandelt. Schallharte Oberflächen, wie Beton, reflektieren den Schall hingegen fast komplett – der Schallabsorptionsgrad nähert sich dabei dem Wert 0 an. Die Überlagerung von einfallender und reflektierter Schallwelle kann zu einer Erhöhung des Schalldruckpegels um bis zu 3 dB führen.

Der Einsatz absorbierender Materialien an den Innenhöfen zugewandten 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 beieinander stehen (Straßenschluchten, Durchgänge, Tunnel). Je näher die Wände beieinander stehen und je höher der Schallabsorptionsgrad eines Materials ist, desto größer ist die schalldämpfende und damit lärmindernde Wirkung von schallabsorbierenden Fassaden im Innenhof.

Geeignete Schallabsorber sind dabei offenporige Stoffe, in die der Schall eindringen kann. Für den Einsatz im Außenbereich ist jedoch eine gewisse Witterungsbeständigkeit und Reinigbarkeit gefordert. Für Faserdämmstoffe und Kunststoffschäume bedeutet dies, dass sie in eine hinterlüftete Fassade integriert werden müssen. Eine Alternative dazu wäre ein speziell gesinterter mineralischer Schaum mit hoher Schallabsorption (z.B. Reapor®), der hier beispielhaft angenommen wird. Durch das Vorhandensein von Fenstern und Türen kann nicht die komplette Fassadenfläche mit dem Absorptionsmaterial belegt werden. Der Anteil der Fassadenfläche, der ausgekleidet werden kann, wird auf 65 % geschätzt (30 % Fenster, 5 % Balkone). Auch Balkone können akustisch wirksam gestaltet werden, was eine gezielte Untersuchung, die u. a. im Folgenden diskutiert wird, zeigt.

Einige Schallabsorptionsgrade, die für die Berechnung angenommen wurden, sowie eine Abschätzung des resultierenden Absorptionsgrades der Fassade zeigt Bild 11.

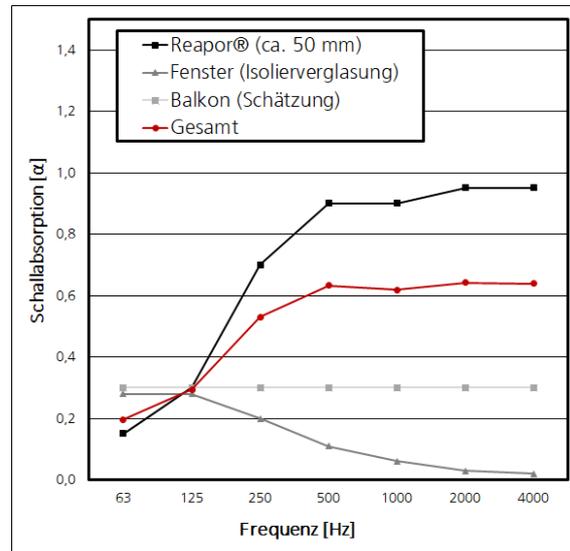


Bild 11: Schallabsorptionsverhalten von Reapor® (Dicke 50 mm), Fenster, Balkone (ohne Maßnahme) und die abgeschätzte Gesamtabsorption schallabsorbierender Fassaden (Gesamt, rote Kurve).

Die Differenzrasterkarte in Bild 12 lässt darauf aufbauend die Auswirkungen schallabsorbierend ausgekleideter Fassaden (roter Verlauf Bild 11) auf die Schallmissionen in den Innenhöfen erkennen. Es ist eine Schallpegelminderung von bis zu 7 dB(A) in Fassadennähe in 2 m Höhe festzustellen. Im Mittel lässt sich im kleineren, nördlich gelegenen Innenhof eine Pegelreduktion von 1 bis 3 dB(A) erreichen. Auch oberhalb der hier angenommenen Beobachtungshöhe ist eine Schallpegelminderung zu erwarten. Die Wirkung lässt dabei mit der Höhe und dem daraus resultierenden Abstand zu den hier untersuchten Schallquelle nach. Eine in der Höhe nur teilweise ausgekleidete Fassade kann dabei darüber hinaus Wirkung zeigen. So ist bspw. bei ausreichendem Absorptionsverhalten auch an Fenstern oberhalb des schallabsorbierenden Bereichs eine Schallpegelminderung zu erwarten. Die fehlende Wirkung im Bereich des großen Parkplatzes ist durch den großen Abstand zwischen den Gebäuden und durch die dominierende Schallquelle Parkplatz zu erklären, wodurch die Wirkung kaum ausgeprägt ist.

Die schallabsorbierende Verkleidung der Fassaden kann durch angepasste bauphysikalische Eigenschaften einen Mehrwert erzielen. So ist es möglich Synergieeffekte zu nutzen und die Wärmedämmung von Gebäuden im Bestand nachträglich zu verbessern. Möglichkeiten hierzu bieten vor Allem vorgehängte Fassadenkonstruktionen, bei denen sich Effekte wie Schallschutz, Wärmedämmung und auf Wunsch weitere Komponenten wie Begrünung oder Luftreinigung besonders gut in Einklang bringen lassen.

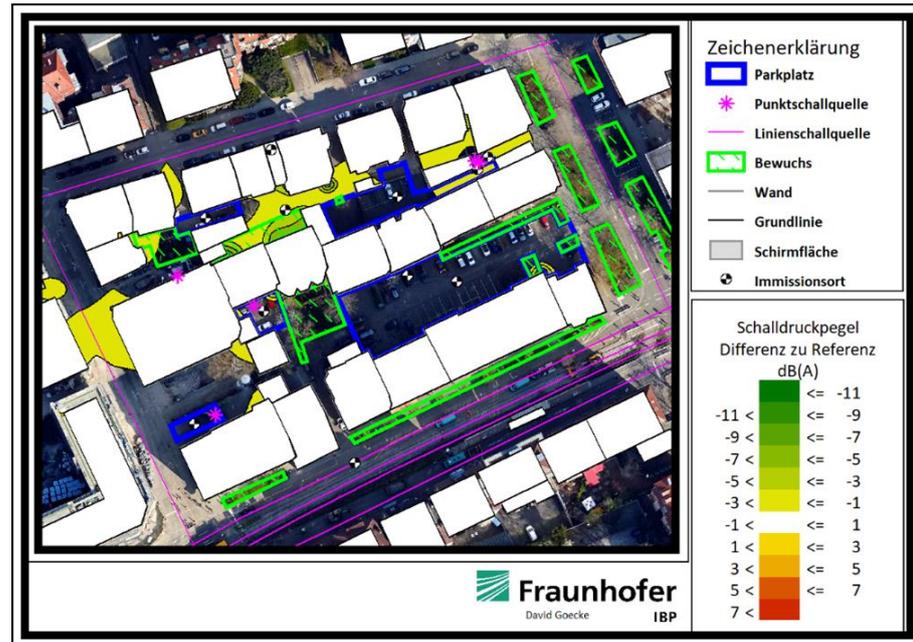


Bild 12:
Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit von schallabsorbierend ausgekleideten Fassaden auf die Schalldruckpegel in den Innenhöfen.

Die Untersicht der Balkone bieten zusätzlich zu den Fassaden Gestaltungsflächen, die zur Schallabsorption genutzt werden können. Für die modellhafte Untersuchung dieser möglichen Lärm-minderungsmaßnahme, wurde unterschiedliche Simulationssoftware eingesetzt. Mit der Software Comsol® wird das Potenzial näher untersucht, indem beispielhaft zwei gegenüberliegende Gebäude des Areals im digitalen Modell mit Balkonen ausgestattet wurden. Comsol® bietet die Möglichkeit, gezielt ergänzende raumakustische Simulationen auf Basis der Randelementmethode (BEM) durchzuführen. Dabei wurde Absorptionsmaterial mit den akustischen Eigenschaften von Reapor® mit einer Dicke von 100 mm unterhalb der Balkonplatte angebracht. Bild 13 zeigt basierend auf dem SoundPlan® Modell den mit Comsol® modellierten Teil des Areals. Die Schallquellen sind zum einen am Boden positioniert, um ein Schallereignis im Innenhof wie ein startendes Fahrzeug zu simulieren, und zum anderen auf einem der Balkone, um Gespräche oder andere Aktivitäten und deren Auswirkung auf die Akustik im Innenhof bewerten zu können.

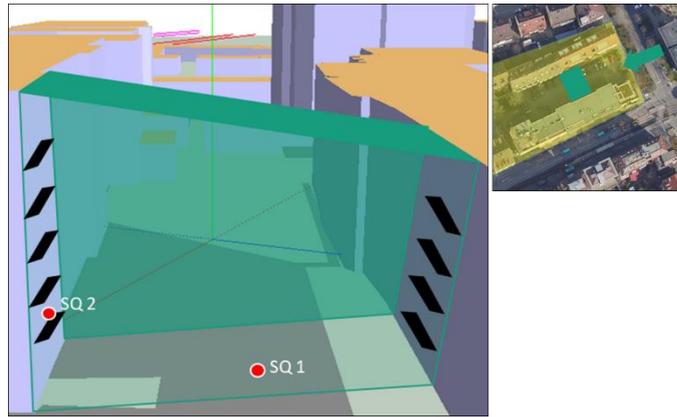


Bild 13:
 Simulationsbereich (grün, Ausschnitt aus dem südlichen Innenhof) und Position der Schallquellen SQ1 und SQ2 zur Bewertung von Maßnahmen an Balkonen (schwarze Rechtecke).

Bild 14 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung in einer Schnittansicht durch den Simulationsbereich. Dabei stehen die Ergebnisse, berechnet für die beiden Schallquellenpositionen SQ1 (im Hof) und SQ2 (auf einem der Balkone), im Vergleich ohne (links) und mit (rechts) Reapor® an der Balkonunterseite gegenüber. Es ist zu erkennen, dass für beide Quellpositionen der Immissionspegel im betrachteten Simulationsbereich durch das gezielt angebrachte Material um 5 - 10 dB reduziert werden kann. Die farbliche dargestellte Schallpegelverteilung zeigt dabei nahezu für alle Bereiche eine gleichmäßige Reduktion der Pegel im Hofbereich. Besonders profitieren können von dieser Maßnahme Personen die sich auf den Balkonen aufhalten. Weitere Untersuchungen, bei denen der außen liegende Teil der Balkonbrüstung ebenfalls schallabsorbierend ausgekleidet wird, zeigen eine zusätzliche, aber geringe Reduktion der Schallimmissionspegel.

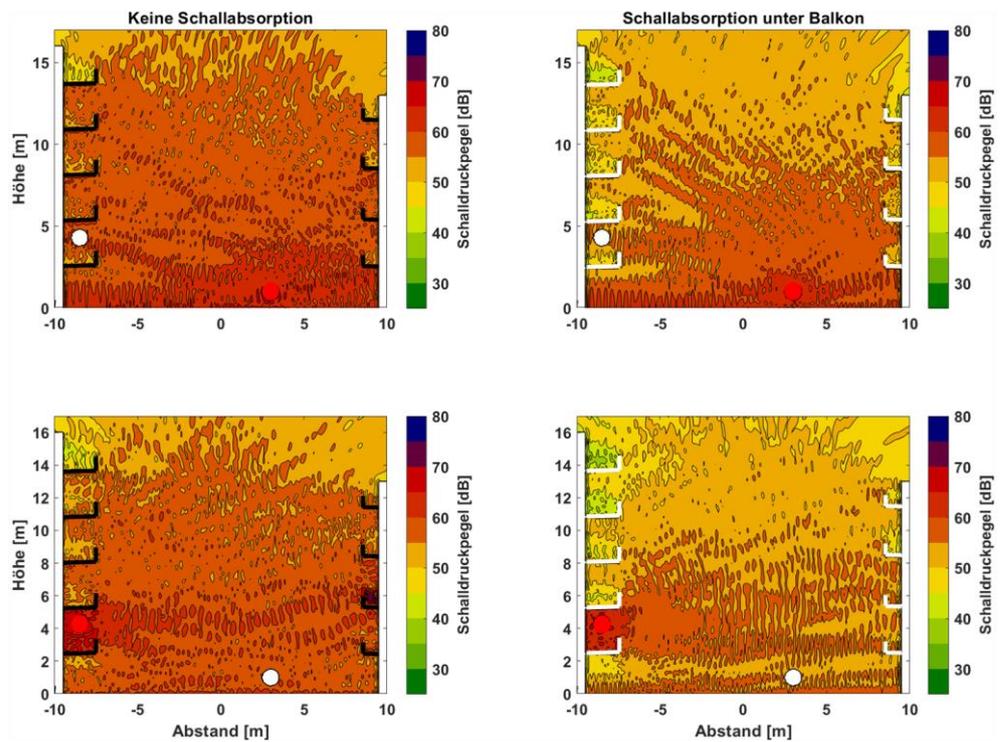


Bild 14:
Berechnungsergebnisse (Comsol®) der Schallpegelverteilung im Simulationsbereich nach Bild 13 für zwei Schallquellenpositionen SQ1 im Hof (Bilder oben) und SQ2 auf einem Balkon (Bilder unten). Die Bilder links zeigen die Ergebnisse im Ausgangszustand und rechts die Pegelverteilung nach Anbringung des Absorptionsmaterials Reapor® an der Unterseite der Balkone.

Die Auskleidung der Unterseite von Balkonen bietet demnach also deutliches Potenzial, um die Schallimmissionen im Innenhof zu reduzieren. Ein zusätzliches wichtiges Argument für diese Maßnahme könnte der Schutz der Privatsphäre sein, da Gespräche, die auf einem Balkon geführt werden, weniger in andere Regionen des Innenhofs übertragen werden.

5.2.2 Schallschutz von Durchgängen

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen in einem der Durchgänge haben gezeigt, dass Zugänge zu einem Innenhof den Schalleintrag z. B. von Straßenlärm begünstigen können. Schmale Durchgänge mit und ohne Überdachung zeigen eine »Trichterwirkung« für Verkehrslärm. Durch mehrfache Reflexion an schallharten Fassadenflächen nahe beieinanderstehender Gebäude kommt es im Durchgangsbereich zu einer deutlichen Pegelerhöhung, sogar gegenüber dem Schalldruckpegel des Verkehrs außerhalb.

Der gezielte Schutz des Areals vor dem Eintrag des Verkehrslärms bildet also eine weitere Möglichkeit die Schallimmissionen in den Innenhöfen zu reduzieren. Zunächst wird das Einbringen von durchsichtigen Schutzschirmen in Form von Glasdächern in nach oben offenen Durchfahrten überprüft. Sie bieten den

Vorteil, dass eine Verdunklung der eher wenig lichtdurchfluteten Durchgänge vermieden werden kann. Durch einen geneigten Einbau, bei der das Dach zum Innenhof hin abfällt, wird zusätzlich eine Schalllenkung in Richtung der Schallquelle (z. B. Verkehrslärm) außerhalb des Areals erreicht. Die Glasdächer werden für die Berechnung jeweils über die gesamte Durchgangstiefe angenommen. Dabei ist eine Einbauhöhe von mindestens 2-3 m sinnvoll, sofern die Zufahrt mit Fahrzeugen erhalten bleiben soll. Besonders hervorzuheben ist der mögliche Einsatz eines Schallschirms im Bereich der Einfahrt der Tiefgarage an der Senefelderstraße. Dieser kann den Schall der Klimaanlage sowie von ein- und ausfahrenden Fahrzeugen abschirmen. Das Glasdach über der Tiefgaragenzufahrt wird über die komplette Breite und Länge angenommen und ist in einer Höhe von 2 m angebracht. Außerdem sorgt eine Glaswand (gekennzeichnet durch das rote „W“ in Bild 15) am Durchgang der Schloßstraße für eine Reduzierung des Verkehrslärms im Innenhof. Dieser wird in der kompletten Breite des Zugangs sowie in der Höhe der angrenzenden Gebäude modelliert.

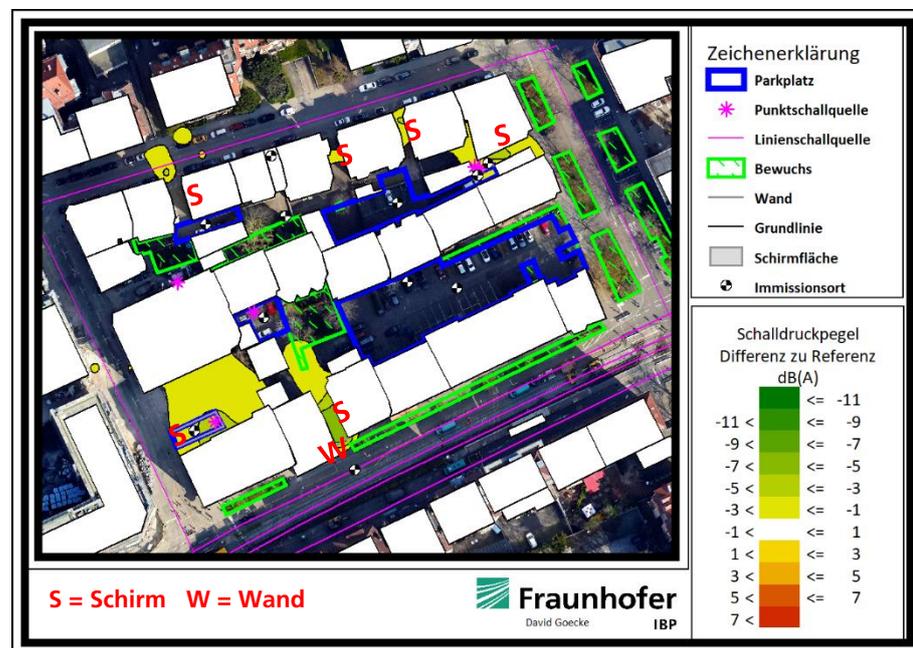


Bild 15:
Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit von schallabschirmenden Maßnahmen durch Glasdächer (S) und eine Glaswand (W).

Bild 15 zeigt die Auswirkungen der Schallschirme und Wände auf den Schall- druckpegel in den Innenhofbereichen gegenüber dem Ist-Zustand in 10 m Höhe (statt in 2 m Höhe, wie für die übrigen Berechnungsergebnisse), da die Auswirkungen besonders oberhalb der Glasdächer bzw. hinter der Glaswand wirken. Im Vergleich zur Ausgangssituation (ebenfalls berechnet in 10 m Höhe) kann demnach eine Reduzierung der Schallimmissionspegel zwischen 3 dB(A), am Kindergarten in der Johannesstraße sowie an der Tiefgarage, und bis zu 9 dB(A), am Durchgang von der Schloßstraße, erreicht werden. Eine Kombination

mit schallabsorbierenden Maßnahmen am Gebäude und den gezeigten Maßnahmen an den Durchgängen wird in einem Maßnahmenpaket in Abschnitt 5.2.4 näher beschrieben.

5.2.3 Parkplätze und Grünflächen

Um das Beispiel-Areal »leiser« zu gestalten, kann die Begrenzung oder vollständige Entfernung aller Parkplätze bis hin zu einem Zufahrtsverbot im gesamten Areal eine wirkungsvolle Möglichkeit sein. Die Ergebnisse dieser Überlegungen werden in Bild 16 deutlich. Demnach gelingt es in einem großen Teil des Areals eine erhebliche Minderung der Schallimmissionen zu erreichen, wenn es zu keinen Parkbewegungen mehr kommt. Teilweise kann sogar eine Minderung von über 11 dB(A) prognostiziert werden. Allerdings ist einzuräumen, dass ein Wegfall aller Parkplätze für die Anwohnenden möglicherweise keine Lösung darstellen wird. Die Ergebnisse zeigen trotzdem, dass eine geänderte Nutzung der Freiflächen, zu denen Parkplätze im beschriebenen Kontext gehören, zu einer Minderung der Schallimmissionen beitragen.

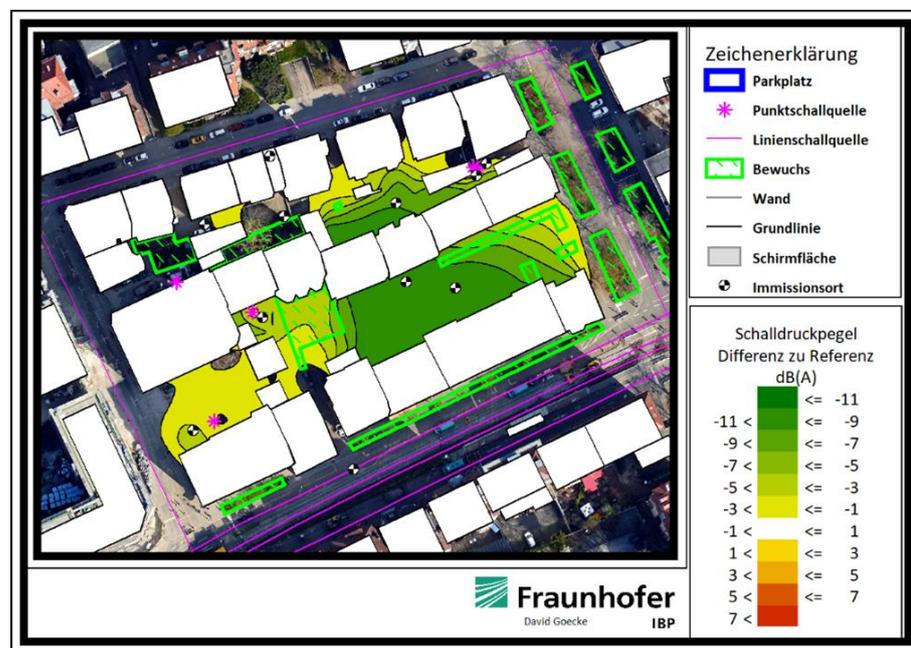


Bild 16:
Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit durch Umnutzung bzw. Entfernen der Parkplätze in den Innenhöfen.

Aber auch von einem nur teilweisen Verzicht auf die vorhandenen Parkflächen im großen Innenhof kann das Areal profitieren bei entsprechender Verteilung der Parkflächen an anderen Stellen. Dafür wird zunächst die Fläche an der Tiefgarage in der Senefelderstraße genutzt. Die dabei entstehenden Freiflächen im großen Innenhof können in Grünflächen umgewandelt werden und dienen so als neu geschaffenes Naherholungsgebiet. Dieser Bereich kann zusätzlich durch

eine optisch ansprechende oder begrünte Lärmschutzwand von den unveränderten Parkplätzen räumlich und akustisch abgegrenzt werden.

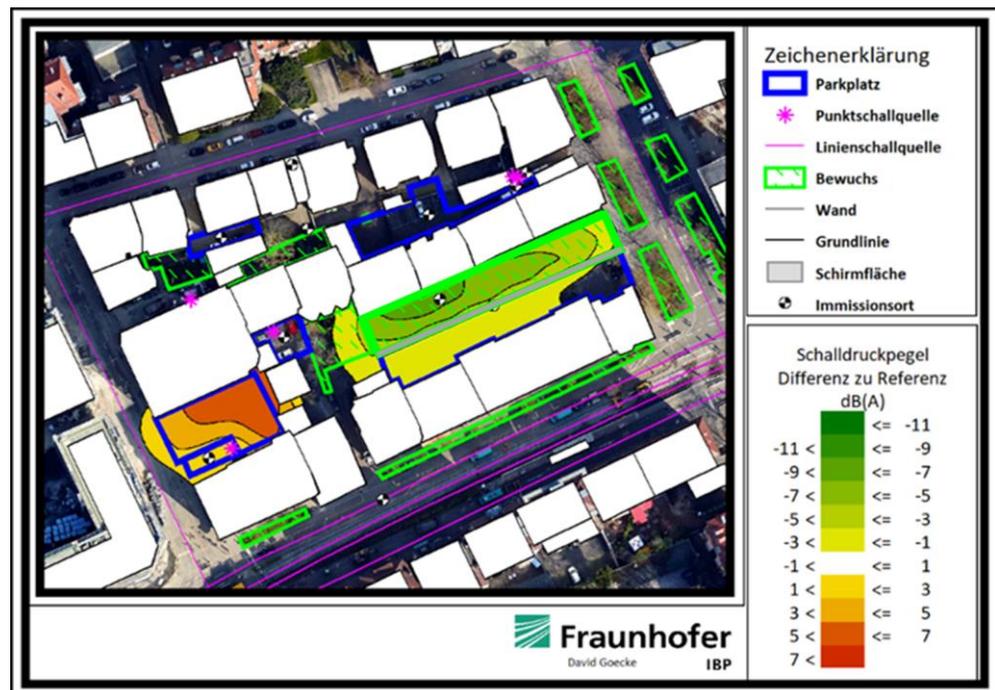


Bild 17:

Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit einer Umverteilung der Parkplätze und Umnutzung der neu entstandenen Freiflächen (dicker, hellgrüner Rahmen) im großen Innenhof, sowie dem Aufbau einer Lärmschutzwand (grau) zwischen Parkplatz und neuer Fläche. Im Bereich der Tiefgarage entstehen neue Parkplätze.

Die Auswirkung der Maßnahmen auf die Akustik in Folge der neuen Flächen-nutzung zeigt die Differenzrasterkarte in Bild 17. Zum einen ist eine Reduktion von bis zu 11 dB(A) im großen Innenhof zu erkennen, auf der die nördlich gelegenen 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 und, wie bereits für die Durchgänge beschrieben als Überdachung bzw. Einhausung hergestellt werden. Im Rahmen größerer Umbaumaßnahmen wäre die Erweiterung der bestehenden Tiefgarage eine anstrengenswerte Alternative.

5.2.4 Maßnahmenpakete

Bei der Betrachtung der diskutierten Maßnahmen kann bereits das jeweilige Verbesserungspotenzial auf die Schallimmissionen im Beispiel-Areal abgeleitet werden. Durch die Kombination der Einzelmaßnahmen lassen sich in einigen Teilen der Innenhöfe die Schallimmissionspegel weiter reduzieren. Aber auch

Kompromisslösungen sind denkbar, bei denen Schallschutzmaßnahmen lediglich teilweise und ggf. mit weiteren, nicht zu Schallschutzzwecken durchgeführten baulichen Änderungen in den Innenhöfen, kombiniert werden. Um den Nutzen zur Lärminderung solcher Maßnahmen abschätzen zu können, empfiehlt es sich im Vorfeld angepasste Simulationsberechnungen durchzuführen.

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 Bild 18 ist die ehemalige Position der im digitalen Modell entfernten Gebäude mit einem roten Rahmen gekennzeichnet. Zusätzlich werden die neu angelegten Parkplätze an der Senefelderstraße überdacht und mit einer Rückwand versehen, wodurch die Ausbreitung der Schallimmissionen des Parkplatzes abgeschirmt wird. Die Durchgänge in nördlicher und südlicher Richtung werden mit den Glasdächern ausgestattet. Der Einsatz schallabsorbierender Fassaden wird in dieser Simulationsberechnung berücksichtigt, eine Balkonverkleidung jedoch nicht. Insgesamt entsteht im großen Innenhof im südlichen Teil des Areals eine durchgehende Grünfläche. Bild 18 zeigt 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.

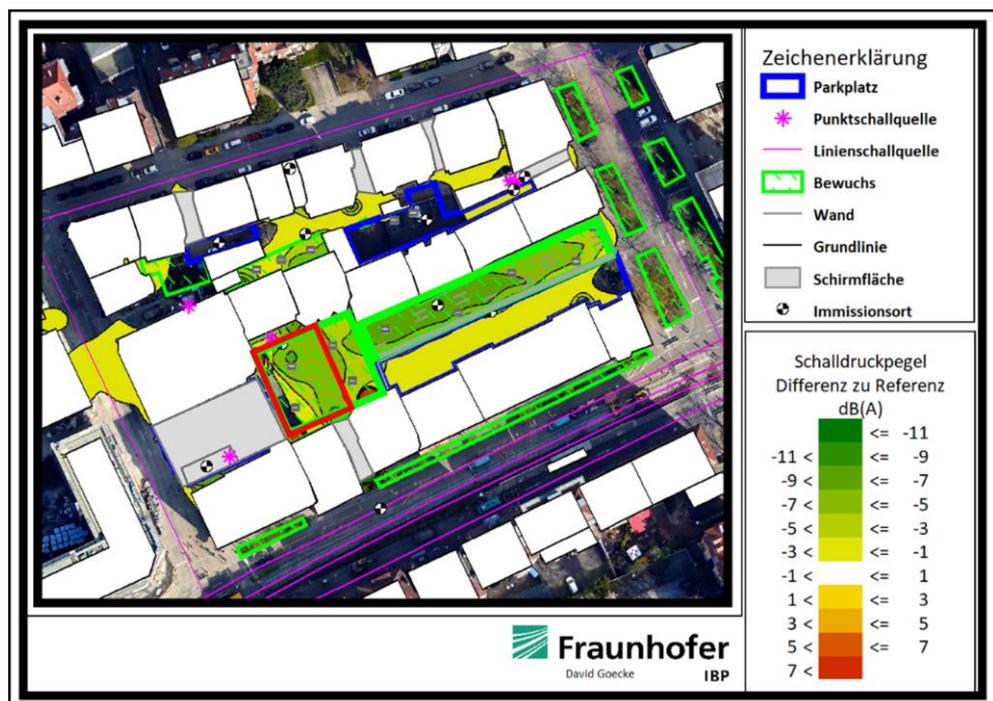


Bild 18:
Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit nach Umnutzung der (neu entstandenen) Freiflächen (dicker, hellgrüner Rahmen), sowie dem Aufbau einer Lärmschutzwand (grau) zwischen Parkplatz und einer Abschirmung der Parkplätze im Bereich der Tiefgarage.

Das Berechnungsprogramm SoundPlan® legt in der grafischen Darstellung des Modells den Fokus auf die akustischen und nicht auf die visuellen Eigenschaften von Bauteilen und Materialien, weshalb eine für planerische Zwecke notwendige detaillierte 3D-Visualisierung nicht zur Verfügung steht. Bild 19 zeigt durch ergänzende Einzelbilder das vorgeschlagene Aufteilungskonzept in der SoundPlan® Darstellung (Mitte) vergleichend zum Ist-Stand (links) und einer Gestaltungsmöglichkeit (rechts), gekennzeichnet durch die Begrünung, einem durchgehenden Weg und einer Gabionen-Bank als Stadtmöbel.

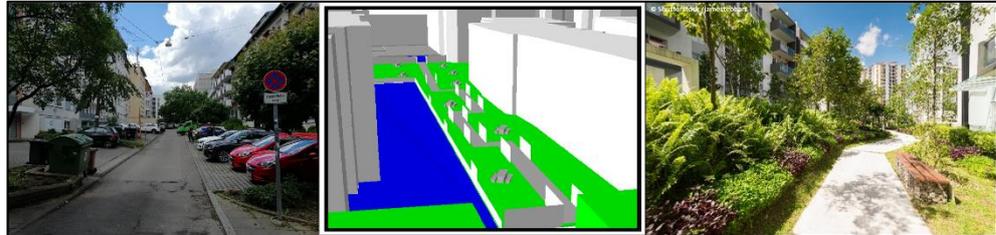


Bild 19:
Beispielhafte Visualisierung; Ist-Zustand (links [IBP]); Mitte [SoundPlan®]: Neue Grünflächen (grün) mit Stadtmöbel (symbolhaft dargestellt in Tischen mit Bänken), blaue Fläche zeigt die Parkfläche, angrenzend eine niedere Lärmschutzwand. Einzelne Stellwände dienen als Lärm- und Sichtschutz. Rechts [Shutterstock]: Ein mögliches Gestaltungsbeispiel.

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. Bild 20 zeigt die insgesamt prognostizierte Differenz der Schallimmissionspegel im Beispiel-Areal im Vergleich zum Ausgangszustand durch Umsetzung des Maßnahmenpaketes nach Abschluss der Bauarbeiten.

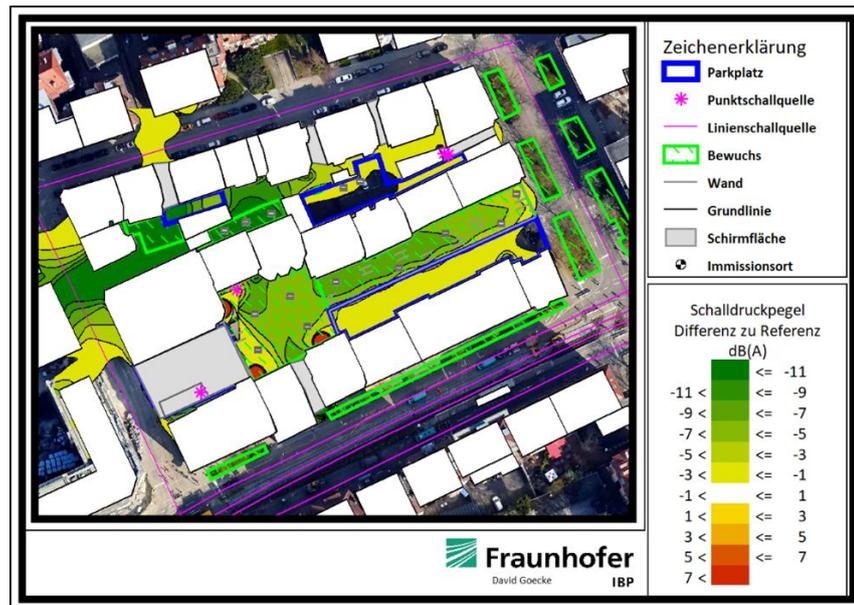


Bild 20:
Differenzrasterkarte zur Beschreibung der Wirksamkeit nach Umnutzung der (neu entstandenen) Freiflächen (hellgrüner Rahmen), sowie dem Aufbau einer Lärmschutzwand (grau) zwischen Parkplatz und einer Abschirmung der Parkplätze im Bereich der Tiefgarage nach Ende der Bauarbeiten.

5.3 Gestaltung der Innenhöfe

Mit dem in Kapitel 5.2.4 vorgestellten Maßnahmenpaket wird ein großer Teil der Innenhöfe begrünt und kann durch eine weitere Ausgestaltung zu einem kleinen Naherholungsgebiet werden. Spielgeräte für Kinder können außerdem die Attraktivität des Areals im urbanen Umfeld für Familien steigern. Gezielt eingesetzte zusätzliche Schallschirme, ob begrünt oder transparent, lenken Lärm von Spielplätzen in weniger sensible Bereiche. Eine Auswahl von Stadtmöbeln, auch unter Berücksichtigung von akustischen Merkmalen, trägt zusätzlich zur Ruhe im Innenhof bei. So sind befüllte Gabionen als Sichtschutz Schallschutz gleichermaßen einsetzbar. Eine Ergänzung können (begrünte) Konstruktionen aus Holz darstellen, die bspw. in ihrer Funktion Sitzgelegenheiten und Durchgänge darstellen und einen naturverbundenen Eindruck verleihen.

Ergänzend dazu ist das Angebot von Stadtmöbeln und grün bewachsenen überdachten Bereichen, wie beispielhaft in Bild 21 zu sehen, eine Möglichkeit, Ruhe-zonen zu schaffen, die zum sozialen Austausch und zur Entspannung der Anwohnenden beitragen.



Bild 21:
Gestaltungsbeispiele: urbane Treffpunkte und Ruhezeiten mit Stadtmöbeln [Shutterstock].

Neben der rein akustischen Wirkung der Maßnahmen an den Gebäuden stellt die Begrünung eine weitere Komponente für die Neugestaltung dar. Wie in Bild 22 zu sehen, kann dies ganzheitlich an Fassaden sowie anteilig an z. B. neu errichteten Lärmschutzwänden umgesetzt werden. Die schallabsorbierende Wirkung derartiger begrünter Flächen kann je nach Begrünungssystem hoch sein.



Bild 22:
Beispiele für begrünte und natürlich wirkende Fassaden und Flächen [Shutterstock].

Bisher ungenutzt sind die Flächen der Dächer zweier Gebäude(züge) im Areal. Neben der naheliegenden Variante die Sonnenenergie durch Solarpaneele nutzbar zu machen, erfährt z. B. die urbane Landwirtschaft eine zunehmende Beliebtheit, bisher ungenutzte Flächen nachhaltig zu gestalten. Der Anbau von Lebensmitteln wird so vor der Haustür bzw. auf dem Dach möglich und es kann, bei geeigneter Statik, gleichzeitig eine Retentionsfläche für Starkregen geschaffen werden. Schließlich können die Dachflächen auch zur Freizeitgestaltung aktiviert werden. Hierbei sind Restaurants oder Sport- und Spielstätten denkbar. Mit entsprechenden Lärmschutzmaßnahmen der Dachumrandungen (zusätzlich zu Maßnahmen gegen den Absturz von Personen oder Gegenständen) wird die dabei neu entstehende Lärmbelastung minimiert. Einige beispielhafte Bilder und Visualisierungen zeigt dazu Bild 23.



Bild 23:
Beispiele für die Nutzung von flachen Dächern im Areal (Restaurants, erneuerbare Energie, Landwirtschaft, etc.) [Stadt Stuttgart, Shutterstock].

5.4 Kostenabschätzung

Für eine erste Einordnung der Kosten der beschriebenen Maßnahmen werden Schätzungen des IBP anhand von Erfahrungswerten angenommen. Diese Werte stellen einen Richtwert dar und dienen als Grundlage für detailliertere Kalkulationen mit Unternehmen der jeweiligen Branche. Die Werte beinhalten dabei die komplette Maßnahme inklusive Material, Gründungsarbeiten und die Ausführung bis zur Abnahme. Tabelle 2 im Anhang A stellt die Kostenabschätzung anhand einer Preisspanne für verschiedene bauphysikalische Bauteile und Materialien mit zum Teil expliziter akustischer Wirkung an den Fassadenflächen sowie die diskutierten Maßnahmen gegenüber. Die Flächen sind dabei aus dem SoundPlan® Berechnungsmodell abgeleitet.

Durch die Kombination eines modernen Designs mit einer erneuerten Wärmedämmung können durch eine geeignete Materialauswahl Aspekte der visuellen Gestaltung mit bauphysikalischen und akustischen Eigenschaften kombiniert werden. So ergibt sich bspw. beim Fassadenumbau eine Energieeinsparung wie bei jeder Sanierung dieser Art. Insofern wird sowohl in die Energieeffizienz als auch in die Akustik investiert. Es ist zu erwarten, dass je nach zu erzielender Wirkung die Kosten für einen Fassadenumbau schätzungsweise im Bereich zwischen 790 Tsd. € und 2,10 Mio. € liegen. Für das Material Reapor® zur Auskleidung der Balkone sind zusätzlich schätzungsweise 60 Tsd. € bis 80 Tsd. € zu kalkulieren.

Eine zusätzliche Lärmschutzwand, die die neu angelegte Grünfläche vom aktuell größten Parkplatz des Areals trennt, schirmt den Schall parkender Fahrzeuge ab und liegt schätzungsweise zwischen 60 Tsd. € und 100 Tsd. €. Die Kosten für die Gestaltung der neuen, horizontalen Grünflächen selbst wird dabei auf 430 Tsd. € und 860 Tsd. € geschätzt. Je nach Ausführung ist auch hier Einspar-

potenzial nicht ausgeschlossen, da das Anlegen einer Rasenfläche weniger Kosten verursacht, als eine komplexere Gestaltung bspw. mit Natursteinen und Bäumen. Ergänzend dazu liegen die Kosten für die Begrünung vertikaler Flächen mit schätzungsweise 1,58 Mio. € bis 2,63 Mio. € deutlich darüber.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Bei ständig zunehmender Lärmbelastung in Städten sind die eigenen vier Wände längst wichtiger Rückzugsort zur Erholung vom stressigen Alltag. Aber auch der Außenbereich in direkter Umgebung vor der Haustüre muss in Zukunft mehr in den Fokus geraten, damit Frischlufterlebnisse für Entspannung sorgen können. Möglichkeiten bieten hierzu Innenhöfe, die bisher allerdings hauptsächlich als Parkplätze und Rangierflächen genutzt werden und mit ihren schallharten Oberflächen sogar zu einer unnötigen Anhebung des Lärms führen können.

Für die Erarbeitung eines Konzepts und Umsetzungsportfolios für Innenhöfe dient ein konkretes Beispielobjekt in der Stadt Stuttgart im Stadtteil West. Unterstützt durch orientierende Messungen am Objekt wurden theoretische Betrachtungen und akustische Simulationen in die Lösungsfindung einbezogen. Kern des Ansatzes ist die akustisch motivierte, aber (stadt-) bauphysikalisch multifunktionale Gestaltung von Bauteilen und Oberflächen, die auf aktuellen Ergebnisse und Entwicklungen aus dem Projektschwerpunkt *Bauphysik Urbaner Oberflächen* aufbauen.

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 Maßnahme der Anbringung schallabsorbierender Materialien an der Untersicht von Balkonplatten. Dabei ist nicht nur eine allgemeine Pegelreduktion im Innenhof zu erreichen, sondern zudem die Vertraulichkeit bei Gesprächen auf dem Balkon erhöht. Des Weiteren bieten Stadtmöbel aus schallabsorbierenden Bauteilen, wie speziell gefüllte Gabionen, die Möglichkeit, ansprechende Begegnungsorte auch aus akustischer Sicht zu verbessern.

Gewichtigste Lärmquelle in vielen Innenhöfen dürften, wie auch in diesem Beispiel bestätigt werden konnte, die Parkplatzbewegungen sein. Falls eine Umnutzung nicht möglich ist, können (niedere) Lärmschutzwände und der Einsatz absorbierender Flächen Abhilfe schaffen. Lärm von außen, vornehmlich durch Straßen- und Schienenverkehr, dringt durch Durchgänge und Passagen in den Innenhof und wird durch mehrfache Reflexion verstärkt. Der Einsatz von abschirmenden Dächern, schallabsorbierende verkleidete Durchgangsbereiche, aber auch Lärmschutzwände vor den Durchgängen, sorgen dabei für eine merkliche Pegelreduktion im Innenhof. Insgesamt wurden im Bericht zahlreiche, vielversprechende Maßnahmen zur Lärminderung in Innenhöfen betrachtet und deren Wirksamkeit durch Simulationsberechnungen nachgewiesen.

Ausblickend sind weitere Ansätze zu nennen, die diese Entwicklung von Konzepten für die Gestaltung von Innenhöfen weiter unterstützen. So sind innovative Gestaltungsansätze der Fassaden dahingehend denkbar, dass ein Bewuchs von vertikal angelegten Bäumen eine einzigartige und visuell attraktive Umgebung schaffen. Eine Umsetzung auf Basis der Idee des Startups Visioverdis [16] existiert bereits in Stuttgart am Rotebühlplatz. Der Einsatz von (schallabsorbierenden) Gummimatten oder »Tartanbelägen«, wie sie häufig auf Spielplätzen oder Sportanlagen zum Einsatz kommen, aber auch schallabsorbierender Asphalt für Parkplätze können dabei ein weiteres Potenzial bieten, die Ruhe zu fördern.

Der Visualisierung von akustisch wirksamen Maßnahmen gestaltet sich von Natur aus schwierig, da Lärmschutzmaßnahmen schließlich über das Ohr und nicht durch das Auge wahrgenommen werden. Die Möglichkeiten der Auralisation, also einer akustischen Darbietung und »Hörbarmachung« von Schallschutzmaßnahmen, sind vor allem bei komplexen Szenarien mit einigen Herausforderungen behaftet. Eine Umsetzung dieser Art der Darstellung hilft zukünftig bei der Planung solcher Maßnahmen, erweitert die Vorstellung und schafft somit Akzeptanz für die Entwicklung und Umsetzung zur Stärkung des Schallimmissionsschutzes im urbanen Gebiet.

7 Danksagung

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

8 Glossar

dB: Dezibel, Einheit zur logarithmischen Darstellung von Schallfeldgrößen

dB(A): Dezibel A-bewertet, Einheit zur logarithmischen Darstellung von Schallfeldgrößen angepasst an die menschliche Wahrnehmung

L_{eq} : äquivalenter Dauerschalldruckpegel

L_{eqEE} : äquivalenter Dauerschalldruckpegel zur Beschreibung von Einzelschallereignissen mit SoundPlan®

L_{eqMess} : gemessener äquivalenter Dauerschalldruckpegel (Einzahlwert) über eine Dauer (hier max. 70 s)

$L_{freqMess}$: gemessener frequenzabhängiger äquivalenter Dauerschalldruckpegel, gemittelt über die Messdauer (hier max. 70 s)

$L_{eqNacht}$: äquivalenter Dauerschalldruckpegel Nacht (22 Uhr bis 6 Uhr)

L_{eqTag} : äquivalenter Dauerschalldruckpegel Tag (6 bis 22 Uhr)

L_{rN} : Beurteilungspegel Nacht (22 bis 6 Uhr)

L_{rT} : Beurteilungspegel Tage (6 bis 22 Uhr)

R: Anzahl der eingestellten Reflexionen im Berechnungsmodell

Literaturverzeichnis

- [1] Fraunhofer-Institut für Bauphysik, »Akustische Stadtgestaltung«, Fraunhofer, 2020. [Online]. Available: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/ueber-uns/initiativen/akustische-stadtgestaltung.html>. [Zugriff am 30 November 2020].
- [2] Möller + Partner, Beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik, »Parkplatzlärmstudie – 6. überarbeitete Auflage«, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 2007.
- [3] LG Berlin, Urteil zu Kleinkinderlärm aus der Nachbarwohnung (67 S 41/16), Berlin, 2016.
- [4] OVG Rheinland-Pfalz, Urteil Lärm durch Kinderspielplatz ist grundsätzlich zumutbar 1 C 11131/16.OVG (<https://dejure.org/2017,42326>), 2017.
- [5] K. Tucholsky, »Was machen die Leute da oben eigentlich?«, Peter Panter, 1930.
- [6] J. Wothge, »WHO-Leitlinien für Umgebungslärm«, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2019.
- [7] J. Wothge und H. Niemann, »Gesundheitliche Auswirkungen von Umgebungslärm im urbanen Raum«, Bundesgesundheitsbl, 2020.
- [8] Johanneum Research; United Nations Development Programme (Croatia), »Superblocks«, POCACITO, Barcelona, 2016.
- [9] D. Roberts, »Die Superblocks von Barcelona«, Social Publish Verlag 2010 GmbH, 4 September 2019. [Online]. Available: <https://enorm-magazin.de/gesellschaft/urbanisierung/superblocks-von-barcelona>. [Zugriff am 17 November 2020].
- [10] M. Nilsson und B. Berglund, »Soundscape Quality in Suburban Green Areas and City Parks«, in Acta Acustica United With Acustica, Stockholm, 2006.
- [11] K. W. Ma, C. M. Mak und H. M. Wong, »Effects of environmental sound quality on soundscape preference«, in Applied Acoustics, 2020.
- [12] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), Die Bundesregierung, 1974.

- [13] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm), Die Bundesregierung, 1998.
- [14] D. J. Lang, »Ergebnisse von Vergleichsberechnungen zur Schallausbreitung nach ÖAL-Richtlinie 28«, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, 1998.
- [15] Bayerisches Landesamt für Umwelt, »Parkplatzlärmstudie - Empfehlungen zur Berechnung von Schallemissionen aus Parkplätzen, Autohöfen und Omnibusbahnhöfen sowie von Parkhäusern und Tiefgaragen«, 2007.
- [16] Visioverdis, »Visioverdis«, Visioverdis GmbH, 2020. [Online]. Available: <http://visioverdis.com/de/home>. [Zugriff am 30 November 2020].

Anhang A

A.1 Schallimmissionsmessungen Diagramme

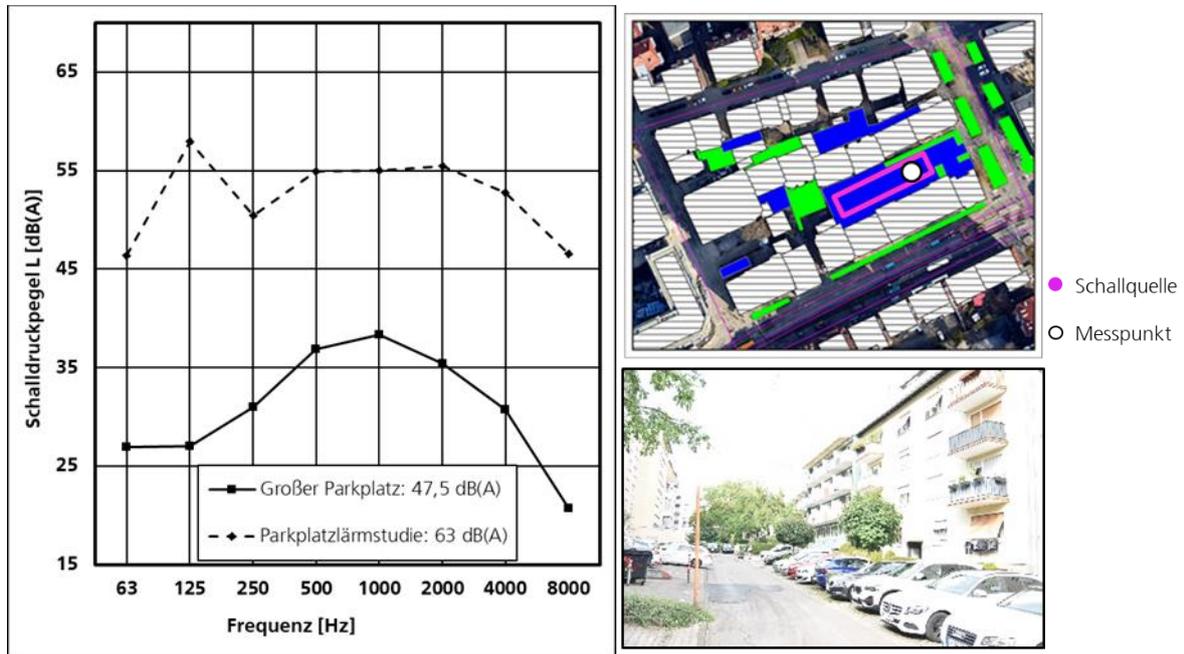


Bild 24:
 Schallmessung großer Parkplatz (keine Parkbewegung) und Prognose des Parkplatzlärms nach Lärmstudie 2007

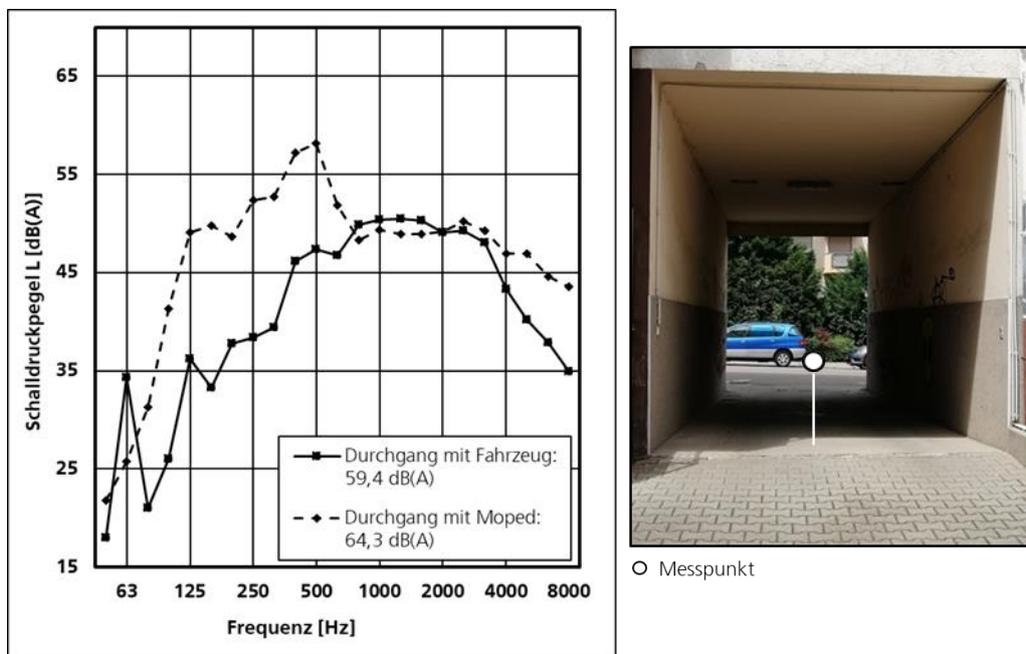
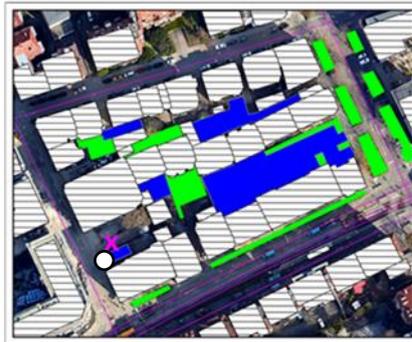
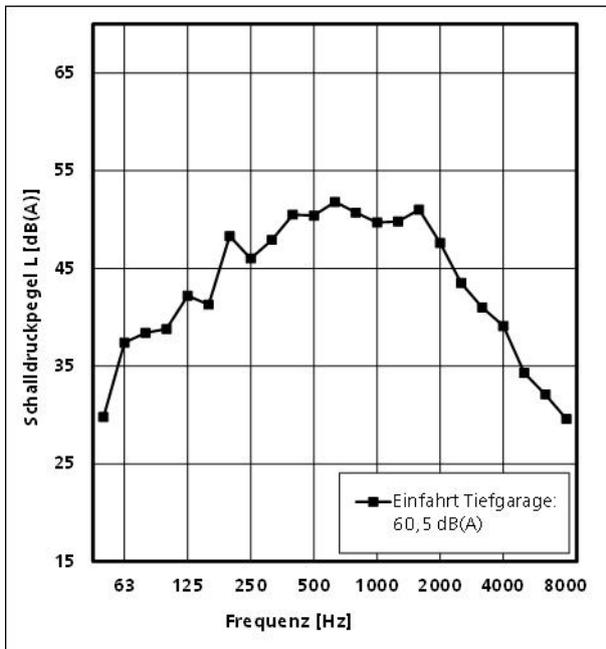
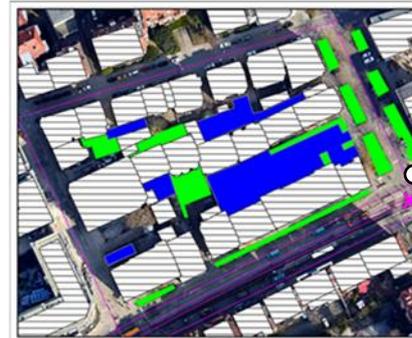
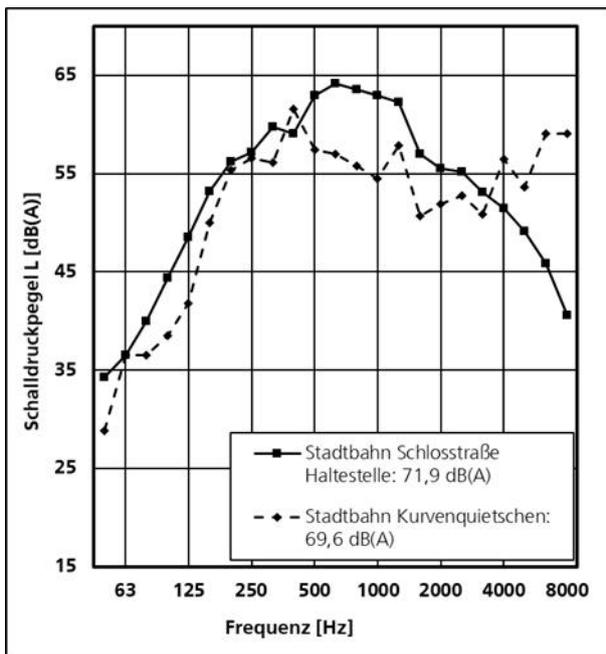


Bild 25:
 Schallmessung überdachter Durchgang (PKW und Moped)



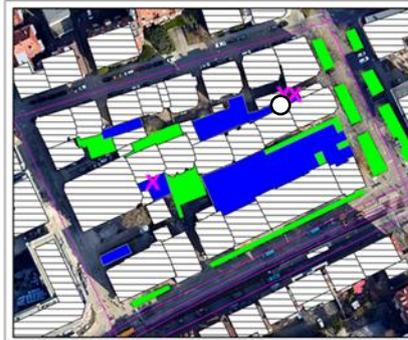
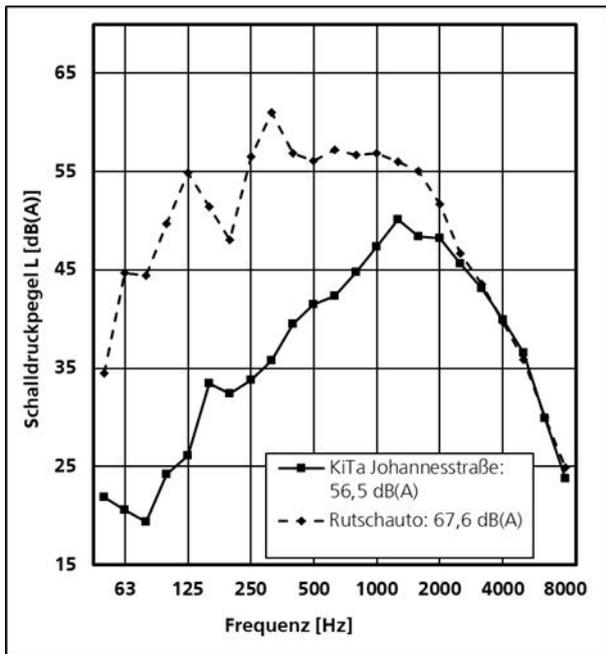
● Schallquelle
○ Messpunkt

Bild 26:
Schallmessung Einfahrt Tiefgarage



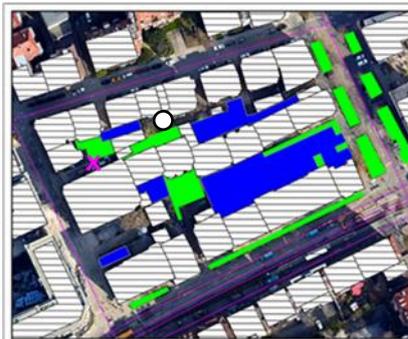
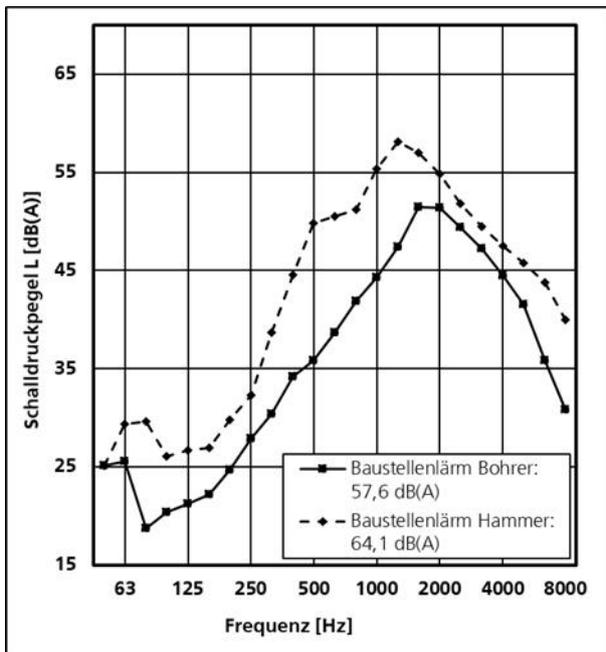
● Schallquelle
○ Messpunkt

Bild 27:
Schallmessung Stadtbahn



● Schallquelle
○ Messpunkt

Bild 28:
Schallmessung Kindertagesstätte und Rutschauto (separat gemessen am IBP auf gepflastertem Boden)



● Schallquelle
○ Messpunkt

Bild 29:
Schallmessung der Baustelle bzw. der eingesetzten Maschinen

Tabelle 2:
Abschätzung (IBP) der Kosten verschiedener Maßnahmen mit mehreren bau-
physikalischen Eigenschaften sowie für weitere im Text diskutierte Maßnahme.

	Maßnahme	Schallschutz	Fläche [m ²]*	min. Preis [€/m ²]*	max. Preis [€/m ²]*	min. Preis [€]*	max. Preis [€]*	Anmerkung
1	Wärmedämmverbund-System (WDVS)	am Gebäude	5.250	150	150	790 Tsd.	790 Tsd.	ca. 65 % der Innenhof-Fassaden
2	Vorgehängte Fassade, Wärmedämmung	am Gebäude	5.250	150	300	0,79 Mio.	1,58 Mio.	ca. 65 % der Innenhof-Fassaden
3	Vorgehängte Fassade, Wärmedämmung u. Schallabsorption	am Gebäude	5.250	200	400	1,05 Mio.	2,10 Mio.	ca. 65 % der Innenhof-Fassaden
4	Reapor® (zzgl. Montage)	am Gebäude	375	150	200	60 Tsd.	80 Tsd.	Balkone: ca. 5 % der Fassaden
5	Lärmschutzwand	an Durchgängen	136	450	750	60 Tsd.	100 Tsd.	Bsp. Abtrennung Großer Parkplatz
6	Verb.-Sicherungsglas	an Durchgängen	375	500	1.000	190 Tsd.	380 Tsd.	Glasdächer in den Durchgängen
7	Grünfläche (horizontal)	im Gelände	1.425	300	600	430 Tsd.	860 Tsd.	Anlage neuer Grünfläche
8	Grünfläche (vertikal)	an Gebäuden	2.625	600	1.000	1,58 Mio.	2,63 Mio.	50 % der Fassade aus 1

*Schätzung (IBP)