

Könnten technische Massnahmen den Lärm an der Langstrasse reduzieren?

Theoretische Abschätzung und Simulation des Potenzials von technischen
Massnahmen zur Reduktion des Störungspotenzials von massiert
auftretendem Gesprächslärm im öffentlichen Raum auf die Nachtruhe
benachbarter Wohnnutzungen

Eine Expertise der Rocket Science GmbH mit der Beteiligung der Stadt Zürich

Impressum

Personen Rocket Science GmbH

- Christian Frick, CEO & Mastermind
- Effi Tanner, Projektleitung Initialphase
- Flavio Lanfranconi, Simulationen & Projektleitung Abschlussphase

Begleitgruppe Stadt Zürich

- Alexandra Heeb, Sicherheitsdepartement
- Günther Arber, Präsidialdepartement
- Barbara Ludwig, Sozialdepartement
- Enrico Quattrini, Sicherheitsdepartement
- Christoph Schoch, Gesundheits- und Umweltdepartement
- Urs Spinner, Hochbaudepartement
- Hans Wehrli, Sicherheitsdepartement
- Yvonne Kwakernaak, Sicherheitsdepartement

Zürich, Dezember 2018

Vorwort

In der Stadt Zürich haben in den vergangenen Jahren die Konflikte zugenommen, die durch die Begleiterscheinungen des Nachtlebens ausgelöst werden. Der Lärm steht bei diesen Konflikten oft im Vordergrund. Der Stadtrat hat in der Folge seine Aufmerksamkeit auf das Nachtleben gerichtet und das Thema in der letzten Legislaturperiode zu einem Strategieschwerpunkt gemacht. So hat sich eine Arbeitsgruppe, in der Leute aus verschiedenen Departementen mitwirkten, mit dem vielschichtigen Phänomen Nachtleben beschäftigt und dabei nach Lösungen gesucht für die problematischen Aspekte des heutigen Ausgehverhaltens. Lärm, Littering, wildes Urinieren, Vandalismus, Gewalt. Eine grosse Herausforderung stellt dabei die Störung der Nachtruhe von Bewohnerinnen und Bewohnern der Ausgeviertel dar. Dabei ist der Lärm, wenn er von einzelnen, räumlich gut getrennten Clubs und Bars ausgeht, und auch von den Leuten, die sich davor aufhalten (Sekundärlärm), grundsätzlich unproblematisch. Quelle und Verantwortlichkeit sind hier klar erkennbar.

Anders ist dies bei den wenigen Orten in der Stadt Zürich, wo mehrere Clubs und Bars räumlich eng beieinanderstehen. Das extremste Beispiel einer solchen Konzentration von Nachtlokalen ist die Piazza Cella und ihre Umgebung an der mittleren Langstrasse. Im Umfeld solcher Hotspots von Nachtleben-Angeboten vermischt sich die Kundschaft der verschiedenen Lokale und lässt sich auch nicht trennen von anderen Gruppen, die sich bis in die frühen Morgenstunden im öffentlichen Raum aufhalten. Hier lässt sich der störende Lärm nicht mehr einem Betrieb zuordnen. Und darum lässt sich die Verantwortlichkeit nicht zuweisen und die üblichen Massnahmen greifen kaum noch. An solchen Hotspots verschiebt sich der Fokus weg von den Betrieben hin zum öffentlichen Raum.

Für diese Gebiete wollten wir nun neue Massnahmen ausloten und haben darum die Rocket Science GmbH mit einer Expertise beauftragt. Das Akustikunternehmen sollte das Potenzial von technischen Massnahmen prüfen, die helfen, den massiert im öffentlichen Raum auftretenden Gesprächslärm für die Anwohnerinnen und Anwohner zu verringern. Zudem sollte das Unternehmen einige der theoretisch erarbeiteten Ergebnisse auswählen und in Feldversuchen verifizieren. Die nun vorliegende Untersuchung dient als Grundlage zur Bestimmung von Massnahmen im Rahmen des Strategieschwerpunkts Nachtleben der Stadt Zürich.

Zürich, im Dezember 2018

Stadträtin Karin Rykart

Vorsteherin des Sicherheitsdepartments

Inhalt

Vorwort	3
1. Problemstellung	7
1.1. Nicht zuordenbare Sekundärlärmemissionen	7
2. Sekundärlärm	8
2.1. Schall und dB Skala	8
2.2. Ausbreitung	8
2.3. Akustischer Nutzungskonflikt	9
2.4. Untersuchungsraum	9
2.5. Kriterien	10
2.5.1. Akustische Wirkung	10
3. Technische Massnahmen	11
3.1. Schallschutzwände	12
3.1.1. Funktion	12
3.1.2. Einschätzung	12
3.2. Schallschirme	13
3.2.1. Funktion	13
3.2.2. Einschätzung	13
3.3. Akustik/Schallschutz Vorhänge	14
3.3.1. Funktion	14
3.3.2. Einschätzung	14
3.4. Akustik Bodenbelag/Flüsterbelag	15
3.4.1. Funktion	15
3.4.2. Einschätzung	15
3.5. Einfahrten/Durchgänge	16
3.5.1. Funktion	16
3.5.2. Einschätzung	16
3.6. Absorbierende/Diffundierende Oberflächen	17
3.6.1. Funktion	17
3.6.2. Einschätzung	17
4. Ideen	18
5. Übersicht über die gemachten Simulationsarbeiten	19
5.1. Vorsicht	19

6. Akustisches 3D-Stadtmodell	20
6.1. Modelparameter	22
7. Übersicht der theoretisch denkbaren Massnahmenarten	23
7.1. Absorption / Reflexion	23
7.2. Emission / Immission	23
7.3. Richtungscharakteristik / Raumwinkelabdeckung	23
7.4. Lokal - Grossflächig / Dezentral - verteilt	24
8. Akustische Simulationen	25
8.1. Piazza Cella	26
8.1.1. Grundsituation	27
8.1.2. Schallschutzschirm	29
Einschätzung	30
8.1.3. Absorbierender Boden/Flüsterbelag	30
Einschätzung	31
8.1.4. Schallschutzteppich	32
Einschätzung	33
8.1.5. Schallschutzwand	33
Einschätzung	34
8.1.6. Schallschutzscreen	35
Einschätzung	36
8.1.7. Reflexion an Screen	36
Einschätzung	37
8.1.8. Absorbierende Fassaden	38
Einschätzung	39
8.1.9. Absorbierende Fassaden nahe am Platz	39
Einschätzung	40
8.1.10. Massnahme am Platz	41
Einschätzung	42
8.1.11. Massnahme über den Strassen	43
Einschätzung	44
8.1.12. Cubes verteilt über Platz und Strassen	45
Einschätzung	46
8.1.13. Massnahme an den Fassaden	46
Einschätzung	48
8.1.14. Minimal Massnahme	49
Einschätzung	50
8.1.15. Maximal Massnahme	51

Einschätzung	52
8.2. Strasse	53
8.2.1. Massnahme über den Strassen	54
Einschätzung	54
8.2.2. Massnahme an den Fassaden	55
Einschätzung	55
8.2.3. Absorbierender Boden	56
Einschätzung	56
8.2.4. Gehsteig-Schallschutzschirme	57
Einschätzung	58
8.3. Durchgang	59
8.3.1. Harter Durchgang	60
8.3.2. Absorbierende Oberflächen	61
Einschätzung	62
9. Validierung durch Schreckschussmessung	63
10. Zusätzliche Simulationen Piazza Cella	66
10.1. Minimal Combo Variante	66
Einschätzung	67
10.2. «Schirme mit Lamellen» - Tulpenform	68
Einschätzung	69
10.3. «Schirme mit Lamellen» - Mastenform	70
Einschätzung	71
11. Fazit / Zusammenfassung	73
11.1. Piazza Cella	73
11.2. Dienerstrasse / Langstrasse	73
11.3. Durchgänge	73
12. Ausblick	74

1. Problemstellung

1.1. Nicht zuordenbare Sekundärlärmemissionen

Am Nachtleben-Hotspot Piazza Cella und derer Umgebung an der mittleren Langstrasse vermisch sich die Kundschaft verschiedener Lokale. Störende Lärmemissionen lassen sich keinem Betrieb zuordnen. Der Fokus im Umgang mit den negativen Auswirkungen des Nachtlebens verschiebt sich in den öffentlichen Raum. Die Zuweisung von Verantwortlichkeiten und hergebrachten Massnahmen zu Behebung von Missständen ist nicht möglich.

Im Gegensatz zum Idaplatz, wo das Lärmproblem durch nicht-technische Massnahmen gelöst werden konnte, da es sich um ein vorwiegend lokales Publikum handelt, und die Gäste einfacher den umliegenden Lokalen zugeordnet werden können, vermischen sich an der Langstrasse verschiedene Interessengruppen, zum Teil ohne lokalen Hintergrund, was zu einem relativen Unverständnis der thematisierten Problematik führt.

Die Langstrasse ist zu einem nächtlichen Begegnungsort geworden, ein öffentlicher Ort an dem sich viele Menschen ansammeln, oft ohne klare Absicht eines der vielen Lokale zu besuchen. Die Masse generiert von Donnerstag bis Sonntag ein beständiges Grundrauschen.

Diese Art des Nachtlebens soll jedoch nicht verhindert werden. Durch die untersuchten akustischen Massnahmen sollen die durch diese Entwicklung entstandenen Nutzungskonflikte verringert werden.



Abbildung 1: Zu untersuchendes Gebiet: Piazza Cella/Dienerstrasse (Grafik aus der Arbeit "Wenn die Nächte lauter werden" von Judith Blum)

Urbane akustische Nutzungskonflikte werden in diversen Städten rund um den Globus beschrieben und untersucht. Es entstanden diverse mehr oder weniger anwendbare technische Lösungsansätze, welche im weiteren Verlauf der Expertise genauer untersucht werden um ihr Anwendungspotential auf die Umgebung des Piazza Cella abzuschätzen.

2. Sekundärlärm

2.1. Schall und dB Skala

Das menschliche Gehör nimmt linear zunehmende Schallintensitäten nicht linear lauter wahr, sondern es funktioniert logarithmisch. Das bedeutet, dass zwei gleich laute (nicht korrelierte) Quellen nicht doppelt so laut klingen. Die doppelte Lautstärke wird erst bei einer Verzehnfachung der Schallintensität wahrgenommen.

Schallintensitäten werden deshalb in der logarithmischen Dezibel (dB) Skala miteinander verglichen:

Ist P_2 z.B. gleich $2 * P_1$ ergibt dies:

$$10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

Ist $P_2 = 10 * P_1$ folgt:

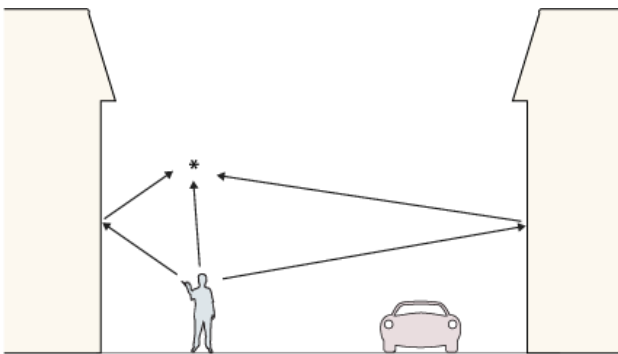
$$10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 10 = 10 \text{ dB.}$$

Hätte P_2 eine Million mal mehr Leistung, also $P_2 = 1'000'000 * P_1$, folgt:

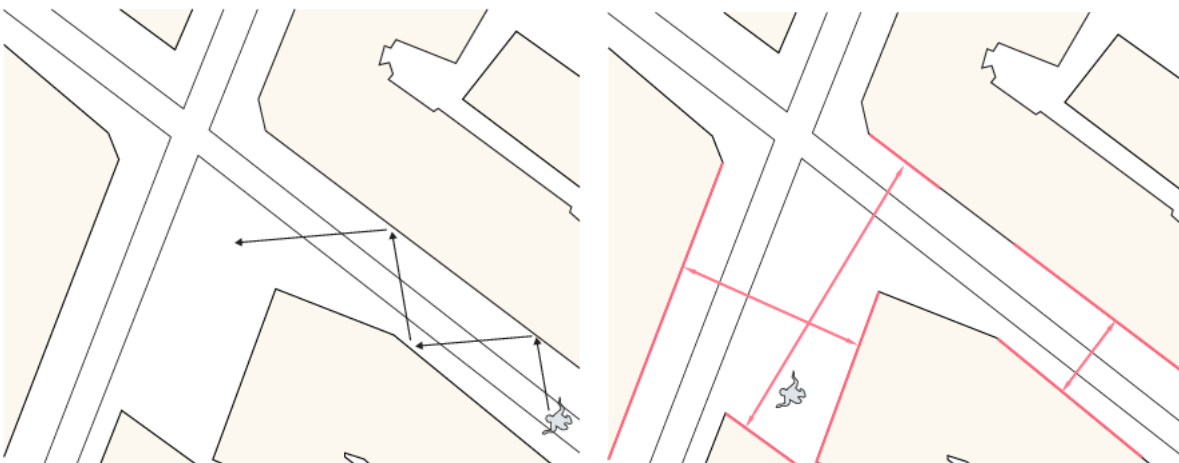
$$10 \log (P_2/P_1) = 10 \log 1'000'000 = 60 \text{ dB.}$$

2.2. Ausbreitung

Zwischen Emissions- und Immissionsort von Sekundärlärm liegt die Distanz im Freien, abgesehen vom Pegelabfall über Distanz und der Luftabsorption für hohe Frequenzen, hat der Lärm freie Bahn.



Besonders tiefe Frequenzen werden aus diesem Grund teilweise sehr weit getragen.



Parallele Oberflächen von Gebäuden in horizontaler oder vertikaler Richtung unterstützen die Schallausbreitung entlang der Strassen und fördern Resonanzen/Mehrfachreflexionen die die wahrgenommene Lautstärke erhöhen.

2.3. Akustischer Nutzungskonflikt

Der Bereich des Freizeit- und Ausgangslärms befindet sich im Frequenzbereich des menschlichen Sprachraums in angeregter Unterhaltung. Während sich in direkter in direkter Nachbarschaft Wohnräume befinden.

Menschlicher Sprachraum: 100 Hz – 5000 Hz¹

Angeregte Unterhaltung: 71 dB_{LW,A,1P}²

Nachtgrundpegel Wohnung: 30-40 dB(A)³

2.4. Untersuchungsraum

Im Allgemeinen wird versucht die Emission möglichst an der Quelle zu reduzieren/absorbieren um die Ausbreitung des Lärms zu unterbinden.

Es kann auch mit dem entgegengesetzten Ansatz gearbeitet werden, also die Lärmreduktion möglichst nahe am Immissionsort anzusetzen. Dies macht in diesem Zusammenhang nur bedingt Sinn, denn der Immissionsort definiert sich als Bereich und verteilt sich über mehrere Stockwerke.

In dem zu untersuchenden Standort der Piazza Cella/Dienerstrasse befinden sich alle nicht zuordenbaren Emissionsquellen auf Strassenhöhe während sich die Immissionsorte, also die gestörten Anwohner, in den Wohnungen ab den ersten Stock befinden.



Horizontale Linie = Optimaler Einsatzort

Die Experimente in der Expertise versuchen technische Massnahmen zu erörtern, welche die Emissionen möglichst unterhalb der eingezeichneten Linie zu reduzieren respektive absorbieren.

Durch den Einsatz verschiedener technischer Massnahmen soll der Schallpegel darunter reduziert werden was auch auf die Nutzer des Raumes einen Einfluss haben kann, denn je weniger laut das Umfeld wahrgenommen wird, desto leiser verhältet man sich im Normalfall selbst, ein Phänomen das als «Lombard-Effekt» bekannt ist.

¹ Akustik des Sprechens (<http://www.cl.uni-heidelberg.de/~mujdricz/referate/Referate/AkustikdesSprechens.pdf>)

² Lärmpegel einer durchschnittlich angetrunkenen Person im freien Raum (ÖNORM S5012)

³ Nachtgrundpegel in Wohnungen mit hoher Aussenlärmbelastung und schlecht gedämmten Fenstern (Schallschutz im Wohnungsbau: Gütekriterien, Möglichkeiten, Konstruktionen; ISBN: 9783433029367)

2.5. Kriterien

Im ersten Teil der Expertise wird versucht mit möglichst wenigen harten Kriterien zu arbeiten um die Lösungsfindung nicht unnötig einzuschränken. Kriterien wie Denkmalschutz und Bewilligungen werden daher nicht in die Studie einfließen.

2.5.1. Akustische Wirkung

Ziel ist eine Reduktion von $\Delta = -10$ dB

- Wird subjektiv als halb so laut empfunden
- 1/3 des vorherigen Schalldruckpegels
- 1/10 der Energie
 - = 90% der Energie muss absorbiert werden

Es handelt sich hierbei um ein „Wunschkriterium“, ob eine solche Reduktion flächendeckend erreicht werden kann wird sich im weiteren Verlauf der Expertise zeigen. Auf Grund der Problematik, mit vielen Schallquellen, Sprecher, an nicht genau definierten Emissionspunkten und grossflächig verteilten Immissionspunkten, Ist das auffangen von 90% der transmittierten Leistung sicherlich ein ambitioniertes Ziel.

Massnahmen mit einer Wirkung von weniger als -7 dB werden, gemäss branchenüblicher Praxis, als quasi-wirkungslos erachtet.

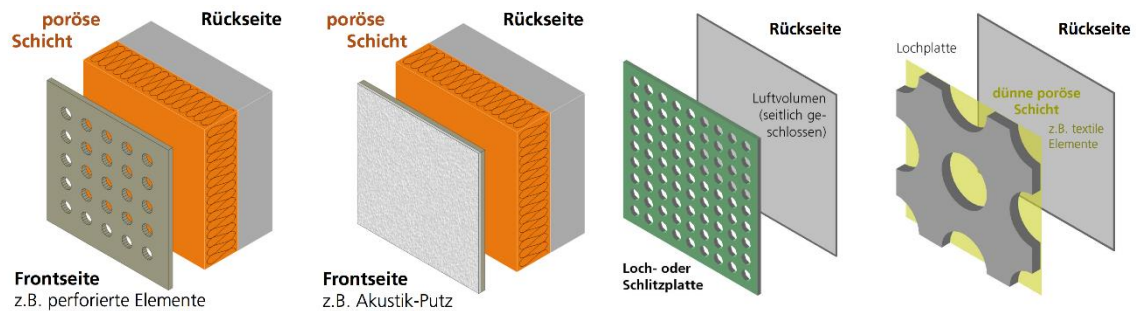
Dabei ist zu beachten, dass die Erwartungen von Anwohnern oft das komplette Verschwinden einer lärmenden Quelle ist. Dies ist nie zu erreichen.

Wie die letzte Rechnung unter 2.1 zeigt müsste ein 60dB lautes Geräusch eine-Million-fach abgeschwächt werden um auf 0dB reduziert zu werden.

3. Technische Massnahmen

Nachfolgend sind unterschiedliche technische Massnahmen zur Reduktion des Sekundärlärms nahe am Emissionsort aufgezeigt. Um eine optimale Wirkung zu erzielen empfiehlt sich eine Kombination verschiedener Massnahmen.

Je nach zu absorbierendem Frequenzbereich ist ein anderer Aufbau der Materialien sinnvoll.



Ausser klassischen porösen Materialien wie Schaumstoffe existieren unterdessen z.B. auch Absorber aus lebendem Moos, die sehr gute Absorptionseigenschaften aufweisen. Was die akustischen Eigenschaften für andere, dicht an Fassaden wachsenden Pflanzen wie Efeu, oder Ähnlichem sind, ist unbekannt. Dies zu Prüfen könnte in späteren schritten aber interessant sein.



Des Weiteren ist im städtischen Kontext das Erscheinungsbild einer Massnahme im Auge zu behalten. Kann die Massnahme z.B. mit einem Kunstprojekt verbunden werden?

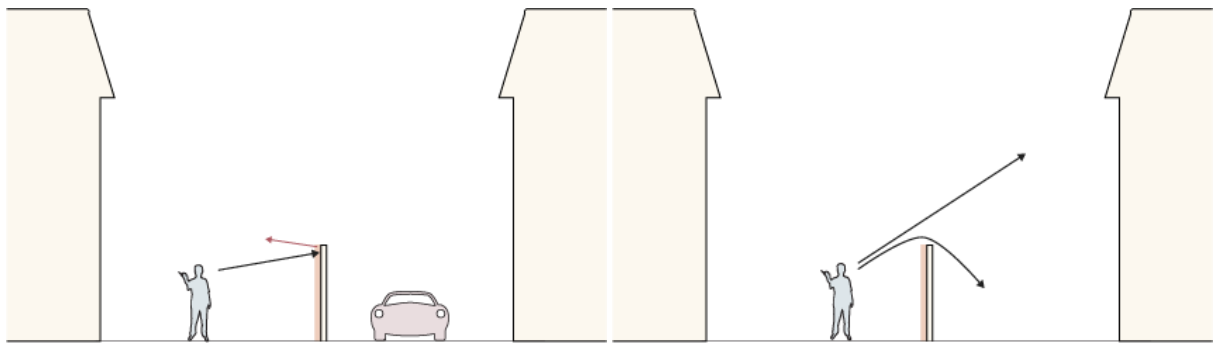
3.1. Schallschutzwände

3.1.1. Funktion

Schallschutzwände werden benutzt um Lärm einzudämmen, so dass an einem zu schützenden Immissionsort der Lärm abgeschwächt wird. Durch die Installation von absorbierenden Materialien zum Teil mit schallhartem Kern wird die Ausbreitung des Sekundärlärms eingegrenzt.

Abhängig von der Frequenz der Schalwellen tritt das Phänomen der Akustischen Beugung auf. Tiefe Frequenzen biegen sich um die Schallschutzwände/Schallschirme und werden dadurch nicht gedämpft während höhere Frequenzen davon abgeschirmt werden.

Die Schallschutzwände können sowohl mobil als auch fix installiert werden.



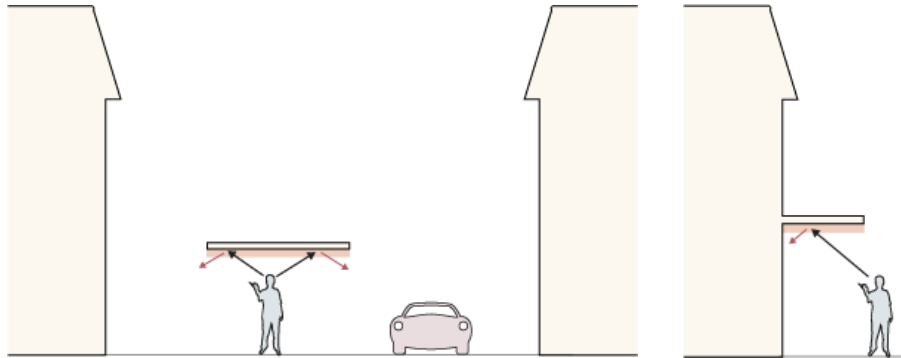
3.1.2. Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirksamkeit auf die Seiten • Gegen oben offen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Mobil • Fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ kostengünstig • Falls Mobil Personalkosten
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich (minimale bis keine Vandalismus Gefahr)
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

3.2. Schallschirme

3.2.1. Funktion

Schallschirme sind in ihrer Funktion deckungsgleich mit den Schallschutzwänden, der einzige Unterschied besteht darin, dass sie die Ausbreitung des Schalles nach oben reduzieren. Je näher sie an der Wand platziert werden umso wirkungsvoller sind sie. Wie bei der Schallschutzwand tritt in den tiefen Frequenzbereichen das Phänomen der Beugung auf.



Schaffhauserstrasse Winterthur

3.2.2. Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirksamkeit gegen oben • Beugung in niedrigen Frequenzen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fix • Mobil noch kein Angebot auf dem Markt
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ kostenintensiv (Genauere Angaben folgen) • Keine Betriebskosten
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich (minimale bis keine Vandalismus Gefahr) • Lange Haltbarkeit
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund • Privatgrund

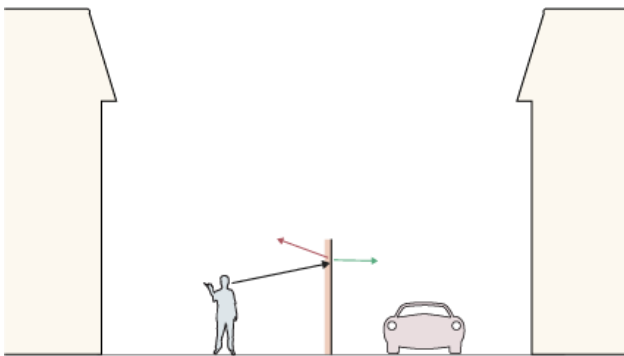
3.3. Akustik/Schallschutz Vorhänge

3.3.1. Funktion

Akustikvorhänge werden traditionell eher im Innenraum verwendet. Wetterbeständige Akustikvorhänge konnten bis jetzt nicht evaluiert werden.

Im Gegensatz zu einer Schallschutzwand haben sie den Nachteil, dass sie akustisch durchlässig sind. Durch Transmission wird ein Teil des Schalles auf der anderen Seite weiterverbreitet. Es existieren Schallschutzvorhänge die eine Reduktion von 13 dB versprechen. Dies aber ausschliesslich, wenn der Vorhang auf allen Seiten (oben, unten, seitlich) geschlossen montiert wird, sonst reduziert sich die Wirksamkeit massiv.

In Kombination mit einem Schallschutzschirm könnte ein Vorhang jedoch zu einem guten Resultat führen



3.3.2. Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ niedrige Wirksamkeit • Absorption und Transmission
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Einfach installierbar • Mobile Installation möglich
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Anschaffungskosten • Eventuell laufende Betriebskosten
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Vandalismus Gefahr • Kurze Halbwertszeit
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

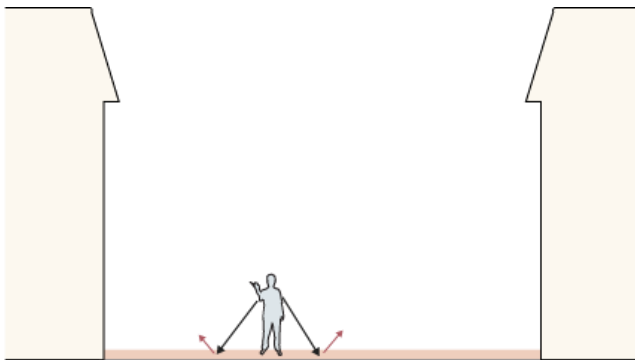
3.4. Akustik Bodenbelag/Flüsterbelag

3.4.1. Funktion

Akustikbodenbeläge werden momentan hauptsächlich im Strassenverkehr eingesetzt. In den letzten Jahren sind diverse Flüsterbeläge entwickelt worden.

Bekannt sind sie aber auch aus dem Sportunterricht wo sie eigentlich den Aufprall abfedern, aber auch Schall dämmen.

Die Absorption des Bodenbelags reduziert nicht nur Reflexionen von Geräuschen, die Entstehung von Gehgeräuschen wird schon am Übertragungsort verhindert/minimiert.



Langensandstrasse Luzern



3.4.2. Einschätzung

Akustik	• Hohe Wirksamkeit
Installation	• Komplex
Kosten	• Kostenintensiv
Betrieb	• Unbedenklich
Standort	• Öffentlicher Grund

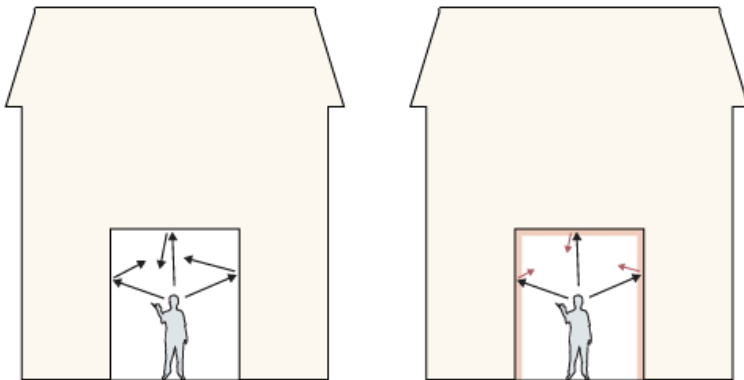
3.5. Einfahrten/Durchgänge

3.5.1. Funktion

Einfahrten zu Innenhöfen wie zum Beispiel diejenige beim Club «Zukunft» funktionieren als analoge Verstärker, durch eine vollumfängliche Verkleidung mit absorbierendem Material könnte dieses Phänomen auf ein Minimum reduziert werden.

Die Ausstrahlung Richtung Strasse sowie Innenhöfe könnte mit einer solchen Massnahme auf ein Minimum reduziert werden.

Eine solche Massnahme ist in Zürich in der Hohlstrasse installiert (leider bis jetzt ohne Bildmaterial)



3.5.2. Einschätzung

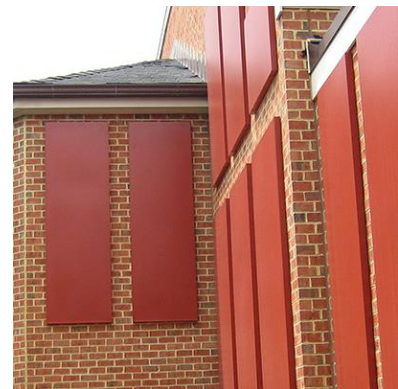
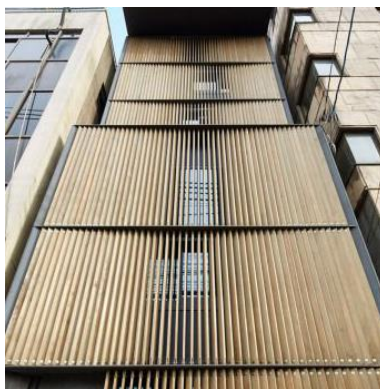
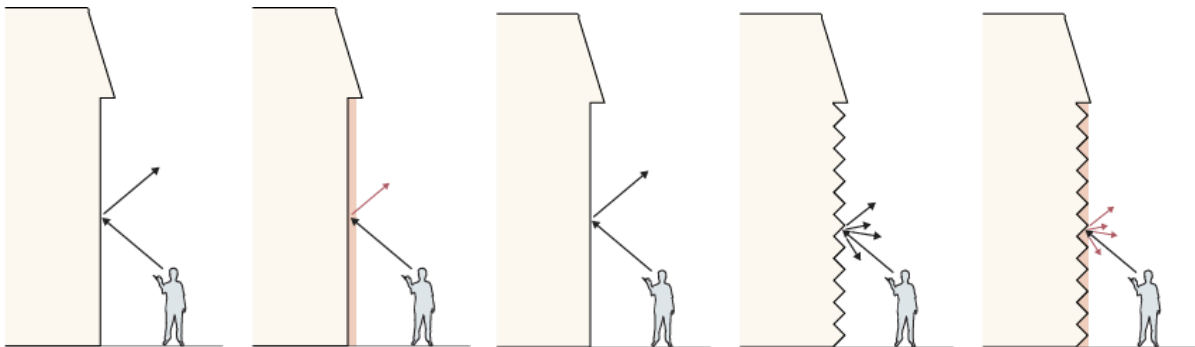
Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirksamkeit
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Einfach da gedeckt • Fixinstallation
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Modell Kostenintensiv
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich (Minimale Vandalismus Gefahr) • Lange Haltbarkeit
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund • Privatgrund

3.6. Absorbierende/Diffundierende Oberflächen

3.6.1. Funktion

Die Installation von absorbierenden Materialien an den umstehenden Gebäuden reduziert die Reflektion von Lärm, dadurch reduziert sich dessen Ausbreitung.

Durch die Strukturierung von schallharten Oberflächen diffundiert der Schall. Die Kombination eines diffundierenden, schallharten Untergrunds mit einem absorbierenden Material an der Oberfläche führt zu einem optimalen akustischen Resultat⁴. Rein optisch kann diese Kombination nicht von einer rein absorbierenden Oberfläche unterschieden werden.



3.6.2. Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirksamkeit falls richtig platziert • Installation im Erdgeschoss (höchste Wirksamkeit) problematisch (Schaufenster)
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexer Aufbau bei Fixinstallation • Temporäre Installation möglich (3. Bild)
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Je nach Modell Kostenintensiv (Genauere Angaben folgen)
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich (Minimale bis keine Vandalismus Gefahr) • Lange Haltbarkeit
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund • Privatgrund

⁴ Fraunhofer Institut, Prof. Dr. Phillip Leistner, «Akustik Potential urbaner Oberflächen»

4. Ideen



Absorbierende Markisen



Absorbierende Bänke



Absorbierende Raucherzonen



Absorbierende Werbung



Absorbierende Plakatsäulen



Hängende Akustik Baffeln

5. Übersicht über die gemachten Simulationsarbeiten

Die folgenden Abschnitte beschreiben das akustische Modell der Häusergruppen um die Piazza Cella, entlang der Langstrasse und der Dienerstrasse, und die darin simulierten Versionen denkbarer Massnahmen zur Reduktion der Lärmbelastung von Anwohnern.

Um ausschliessen zu können, dass mögliche Massnahmenarten unberücksichtigt blieben wurde in einem ersten Schritt die theoretisch denkbaren Massnahmenarten noch einmal systematisch untersucht, siehe Abschnitt 7.

Die Simulationen wurden dann unterteilt in Bezug auf die Position der Gesprächslärmquellen:

- Lärmquellen auf der Piazza Cella, Abschnitt 8.1
- Lärmquellen entlang der Strassen, Abschnitt 8.2
- Lärmquellen in einem Durchgang, Abschnitt 8.3

Zur einfacheren Beurteilung der Wirkung der unterschiedlichen Massnahmen wurde ein einzeliges Mass eingeführt: die gewichtete mittlere Reduktion in dB, beschrieben auf Seite 25.

Die erste Situation mit Quellen auf der Piazza Cella wurde benutzt um das generelle Wirkungspotential der unterschiedlichen Massnahmenarten zu beurteilen.

Nur die am interessantesten erscheinenden Massnahmen wurden für die Situation mit Quellen entlang der Strassen weiter ausgearbeitet.

Für die Situation mit einer Quelle in einem Durchgang wurde lediglich eine abstrahierte, verallgemeinerte Geometrie simuliert, um die Wirkung einer akustischen Massnahme zu veranschaulichen.

Zur Validierung der Simulationen wurden Schreckschussmessungen vor Ort durchgeführt, siehe Abschnitt 9. Diese entsprechen qualitativ gut den simulierten Ergebnissen. Die hier beschriebenen Simulationen sind demnach plausibel.

5.1. Vorsicht

Alle hier beschriebenen Simulationen mit absorbierenden Elementen verwenden einheitlich stark absorbierende Oberflächen mit Absorptionskoeffizienten bis zu 90%, siehe Abschnitt 6.1. Dies entspricht nicht in allen Fällen den erreichbaren Absorptionen für reale akustische Elemente.

Die Studie dient in erster Linie dem Aufspannen des Möglichkeiten-Spektrums und soll dazu dienen die sinnvollsten Angriffspunkte zu identifizieren.

Des Weiteren sind die pro Massnahme errechneten *gewichteten mittleren Reduktionen* strikte in Relation zu den abgebildeten Graphen auf denen die Originaldaten visualisiert sind zu verstehen.

Dem zu Folge sind die Werte mit einer variierenden Unsicherheit behaftet und sollen primär das Aufstellen einer groben Rangordnung der Massnahmen ermöglichen.

6. Akustisches 3D-Stadtmodell

Das von der Geomatik + Vermessung der Stadt Zürich (GeoZ) bezogene 3D-Modell wurde in Google SketchUp importiert und bearbeitet. Um den Rechenaufwand der Akustik-Software, CATT und TUCT, in handhabbaren Grössen zu halten wurde das Modell auf die wesentlichen Häusergruppen reduziert und geometrisch leicht vereinfacht.

Abbildung 2 zeigt das ursprüngliche Modell, wobei zu sehen ist, dass einige Dach-Oberflächen in den von uns importierten Daten fehlen. Der Grund dafür konnte nicht ermittelt werden. Da die Dachflächen aber für die Ausbreitung des in Bodennähe erzeugten Schalls nicht essentiell sind wurde auf eine vollständige Korrektur verzichtet.



Abbildung 2: 3D-Stadtmodell von GeoZ.

Abbildung 3 zeigt das reduzierte Modell der Häusergruppen um die Piazza Cella.

Das reduzierte Modell wurde ins CATT exportiert, in dem lokalisierte Lärmquellen und fixe Abhörpositionen definiert wurden, siehe Abbildung 4.

Die Abhörpositionen befinden sich direkt vor den entsprechenden Hausfassaden und auf 10m Höhe.

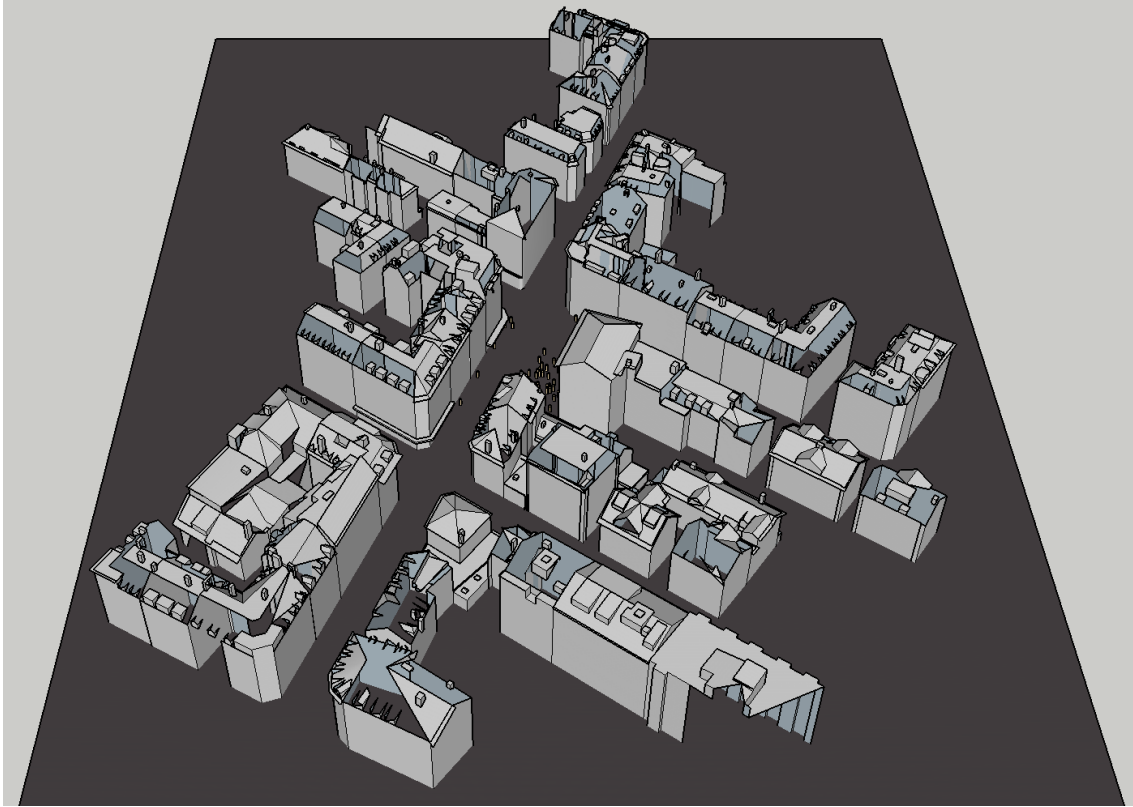


Abbildung 3: Vereinfachte Version des 3D-Stadtmodells um die Piazza Cella.

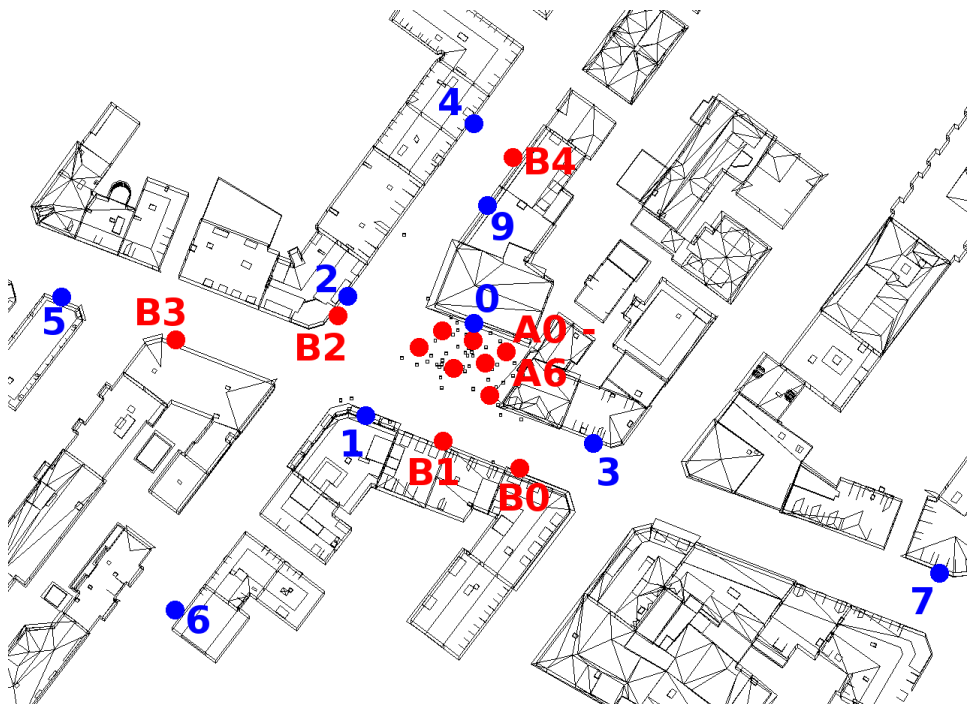


Abbildung 4: Quellen, in rot: A0-A6 auf der Piazza Cella, B0-B4 entlang der Lang- und Dienerstrasse, Abhör-Positionen, in blau, 00 bis 09 (ohne 08).

6.1. Modelparameter

Die Schallquellen wurden nach ANSI S3.5-1997 als «laute Sprecher», mit omnidirektionaler Abstrahlung auf 1.7m Höhe, definiert, da diese Norm in der Software bereits implementiert war. Sie definiert die spektrale Verteilung der Schallenergie in die verschiedenen Frequenzbänder der menschlichen Sprache entsprechend. Die amerikanische Norm ist hier mit 73.6 dBA noch etwas lauter als die Österreichische, die in der Sitzung vom 07.12.17, und in Abschnitt 2.3, erwähnt wurde. Da für die Simulationen sowieso primär Relativwerte von Interesse sind spielt dies keine weitere Rolle.

Um das akustische Modell simpel zu halten wurden ausschliesslich drei unterschiedliche Materialien verwendet:

- Komplettschallharter Asphalt, im Modell schwarz, der nur sehr geringe diffuse Reflexion aufweist.
- Schallharter Stuck, im Modell hellgrau, der, besonders in den höheren Frequenzbändern starke diffuse Reflexion bedingt.
- Starker Schallabsorber, beige im Modell, der 90% der Schallenergie absorbiert und den Rest stark diffus reflektiert.

Frequenzgang Quelle

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Stimme SPL [dB]	58.0	64.0	70.3	70.7	65.9	59.9

Materialien

Oktavband	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Asphalt						
Absorption [%]	1	1	1.5	2	2	2
Streuung [%]	1	1	1	1	1	1
Stuck						
Absorption [%]	2	2	2	2	2	2
Streuung [%]	10	20	30	40	60	80
Absorber						
Absorption [%]	30	60	90	90	90	90
Streuung [%]	10	20	30	40	60	80

7. Übersicht der theoretisch denkbaren Massnahmenarten

Die folgenden Felder möglicher akustischer Massnahmenarten wurden erarbeitet. Diese sollen im Weiteren anhand der Simulationen gemäss ihrem Nutzen und der Machbarkeit beurteilt werden.

7.1. Absorption / Reflexion

Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit Schall an einer Oberfläche zu absorbieren oder ihn an einer schallharten Oberfläche in eine unbedenkliche Richtung, z.B. senkrecht nach oben, zu reflektieren.

7.2. Emission / Immission

Wie unter 2.4 beschrieben, wird eine akustische Massnahme klassischerweise entweder nahe der Emissionsquelle oder nahe am Immissionspunkt eingesetzt.

In dem vorliegenden Fall übersetzt sich dies zu einer Massnahme entweder lokal an der Piazza Cella, sowie entlang der Langstrasse und Diererstrasse, nahe den lärmverursachenden Menschen, oder entlang der bewohnten Hausfassaden.

7.3. Richtungscharakteristik / Raumwinkelabdeckung

Die Menschliche Stimme wird vorwiegend in Winkeln von -30° bis $+60^\circ$ abgestrahlt, siehe Abbildung 5.

Der nach unten abgestrahlte Schall wird am Boden reflektiert und addiert sich danach zu dem Schall, der Richtung der höheren Stockwerke geht, siehe Abbildung 6

Damit zeigt sich, dass sich theoretisch sowohl in tiefen als auch in hohen Raumwinkel Massnahmen einbringen lassen.

Je umfassender die relevanten Raumwinkel abgedeckt werden, desto wirkungsvoller greift die Massnahme. Der gleiche Raumwinkel kann mit unterschiedlichen Massnahmen gedeckt werden, siehe Abbildungen 7 bis 9.

Für die Simulationen wurden omnidirektionale Quellen verwendet, da bei statistischer Verteilung vieler Menschen eine globale Abdeckung der Raumwinkel angenähert werden wird.

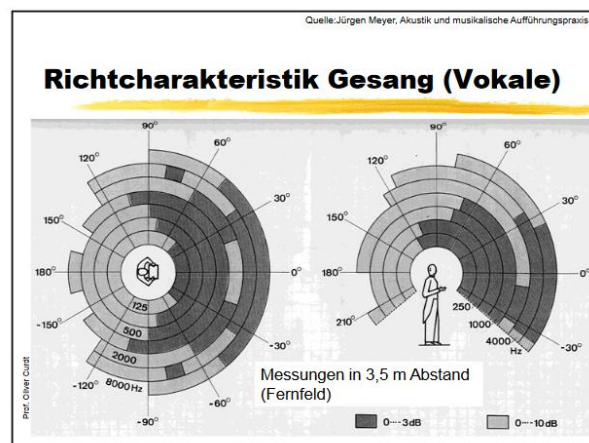


Abbildung 5: Abstrahlung der Menschlichen Stimme.

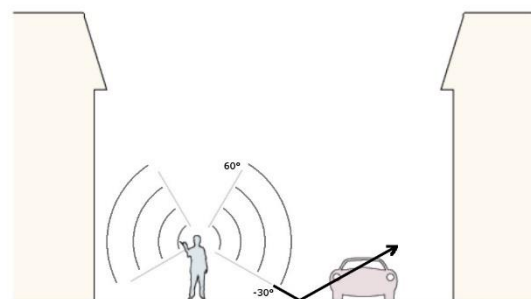


Abbildung 6: Abstrahlungscharakteristik

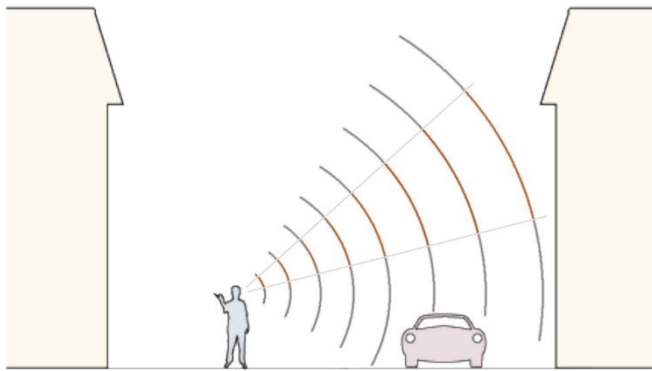


Abbildung 7: Beispiel: zu schützender Raumwinkel

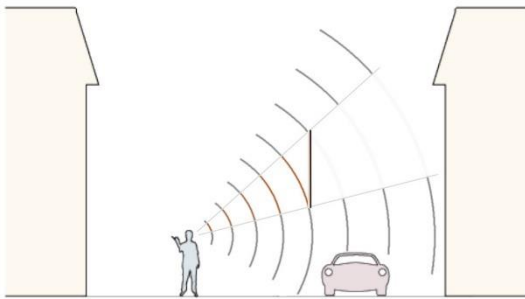


Abbildung 8: Schutz durch waagrecht Schallschutzscreen

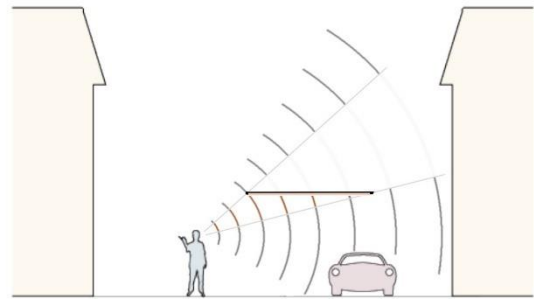


Abbildung 9: Schutz durch horizontalen Schallschutzschirm

7.4. Lokal - Grossflächig / Dezentral - verteilt

Massnahmen können als wenige grossflächige, lokalisierte Einheiten oder als viele kleine, dezentral verteilte Einheiten gedacht werden.

Dabei ist zu beachten, dass die erzielte Wirkung auch eine Funktion der Oberfläche sein wird. Das heisst, je mehr Oberfläche eingebracht wird, desto mehr Wirkung ist zu erwarten.

8. Akustische Simulationen

In der Sitzung vom 07.12.17, und unter 2.5.1, wurde als Arbeitshypothese eine Ziel-Reduktion des Lärmpegels von 10 dB für die Anwohner festgelegt. Als Messwert an jeder Abhörposition wurde der über eine Sekunde integrierte Schalldruckpegel (ungewichtet summiert über alle Frequenzbänder), dB SPL, genommen. Damit werden Reflexionen korrekt miteinbezogen und der Wert entspricht einer guten Näherung des tatsächlichen Lärmpegels bei kontinuierlicher Schallemission an der Quelle.

Um die akustische Wirkung einer Massnahme zu quantifizieren muss aus den SPL-Werten der verschiedenen Abhörpositionen eine mittlere Reduktion berechnet werden. Auf Grund der logarithmischen dB Skala soll dabei eine Reduktion an lauten Positionen stärker einfließen als eine Reduktion an einer bereits leisen Position. Andererseits gilt es, Absenkungen an den verschiedenen Abhörpositionen zu priorisieren.

Als Vorschlag für diese Priorisierung der verschiedenen Abhörpositionen, wird die folgende, exponentiell ansteigende, Gewichtung, siehe Abbildung 10, vorgeschlagen und im Weiteren verwendet:

- Position 0, geringste Priorität, da unbewohnt, Gewicht $g = 1$
- Position 1 und 2, mittlere Priorität, da erhöhte Lärmtoleranz erwartet werden kann, Gewicht $g = 3$
- übrige Positionen, höchste Priorität, Gewicht $g = 7$.



Abbildung 10: Priorisierung der Abhörpositionen, rot = 1, orange = 3, grün = 7.

Daraus wird aus allen SPL Werten jeder Simulation ein Gewichteter Mittelwert, L_m nach Gleichung 1), gebildet. Der Unterschied zur Grundsituation, $\Delta L_{m,SIM}$ nach Gleichung 2), stellt dann eine Quantisierung der Akustischen Wirkung der simulierten Massnahme dar.

$$L_m = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{g_1 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} + g_2 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + g_n \cdot 10^{\frac{L_n}{10}}}{\sum g_1 + \dots + g_n} \right) \quad 1)$$

$$\Delta L_{m,SIM} = L_{m,Grund} - L_{m,SIM} \quad 2)$$

8.1. Piazza Cella

In diesen Simulationen wurden die sieben Quellen auf der Piazza Cella aktiviert. Abbildung 11 zeigt ihre Verteilung, die gewählt wurde um mit einer reduzierten Anzahl Quellen, verglichen mit der Realsituation, doch ein gleichmässiges Abstrahlverhalten vom ganzen Platz zu erreichen. Die reduzierte Anzahl ist nötig um den Rechenaufwand handhabbar zu halten.

Zusätzlich wurde eine lose Gruppe Streuender Körper auf dem Platz verteilt um die intrinsische Absorption einer Menschengruppe zu approximieren, siehe Abbildung 11 und Abbildung 12.

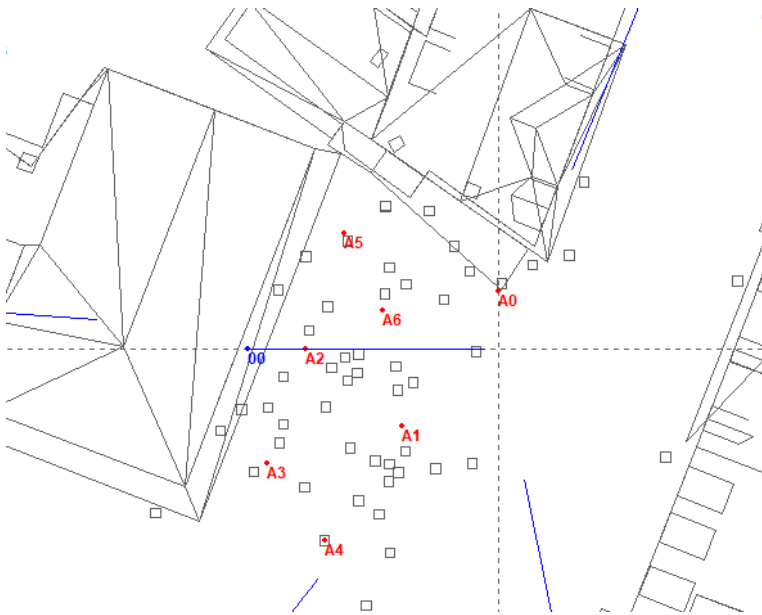


Abbildung 11: Lärmquellen-, in rot: A0 bis A6, und Streuer Positionen, schwarze Quadrate auf der Piazza Cella.

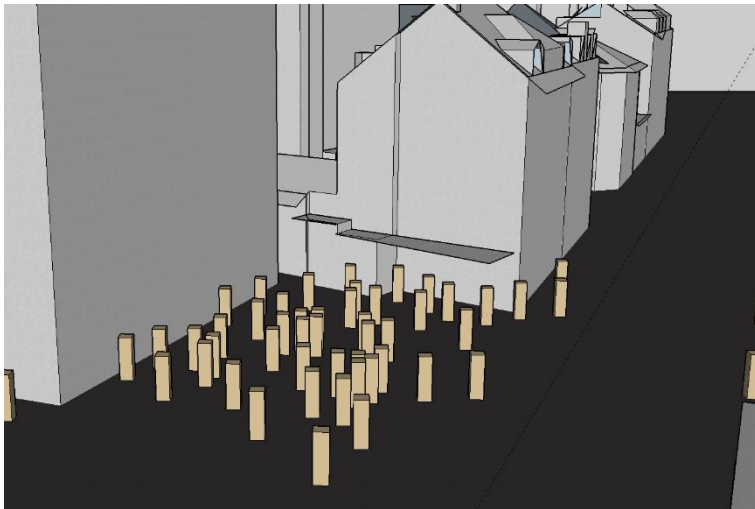


Abbildung 12: Streuer Positionen auf der Piazza Cella im 3D-Modell.

Nach der Simulation der Grundsituation wurden die möglichen Eingriffsebenen grob und relativ kunstlos überprüft. Diese sind:

- oben, als Schallschutzschirm, Abschnitt 8.1.2
- unten, als Flüsterbelag oder Schallschutzteppich, Abschnitte 8.1.3 und 8.1.4
- an der Seite auf Strassenhöhe, als Schallschutzwand, Abschnitt 8.1.5
- oder an der Seite über Kopfhöhe, als hängender Schallschutzscreen, Abschnitt 8.1.6.
- mit überall komplett absorbierenden Fassaden, Abschnitt 8.1.8.

Die Ergebnisse aus den Simulation dieser groben Eingriffe informierte das Erarbeiten erster möglicher Massnahmen.

Des Weiteren wurden die Wirkungen der unter Abschnitt 7 ausgearbeiteten Gegensatzpaare, an konkreten Beispielen, ausgelotet.

Abschliessend werden eine, aus unserer Sicht, realistische minimale- und eine akustisch optimale maximale Massnahme simuliert.

8.1.1. Grundsituation

Als erstes wurde die Grundsituation simuliert.

Abbildung 13 zeigt die Ausbreitung eines Schallstosses der sieben Quellen auf der Piazza Cella mit je 73.6 dBA von oben. Nach ca. 50ms erreicht der Schall die umliegenden Häuserfassaden und wird von diesen praktisch ungedämpft zurück reflektiert. Es sind zum grossen Teil diese Reflexionen, die nach 100ms beginnen die Strassen entlang zu wandern. Nach 200ms ist zu sehen wie der Schall auch in die Seitenstrassen reflektiert wurde, und dass auf dem Platz selbst noch immer Reflexionen an den parallelen Wänden hin und her geworfen werden.

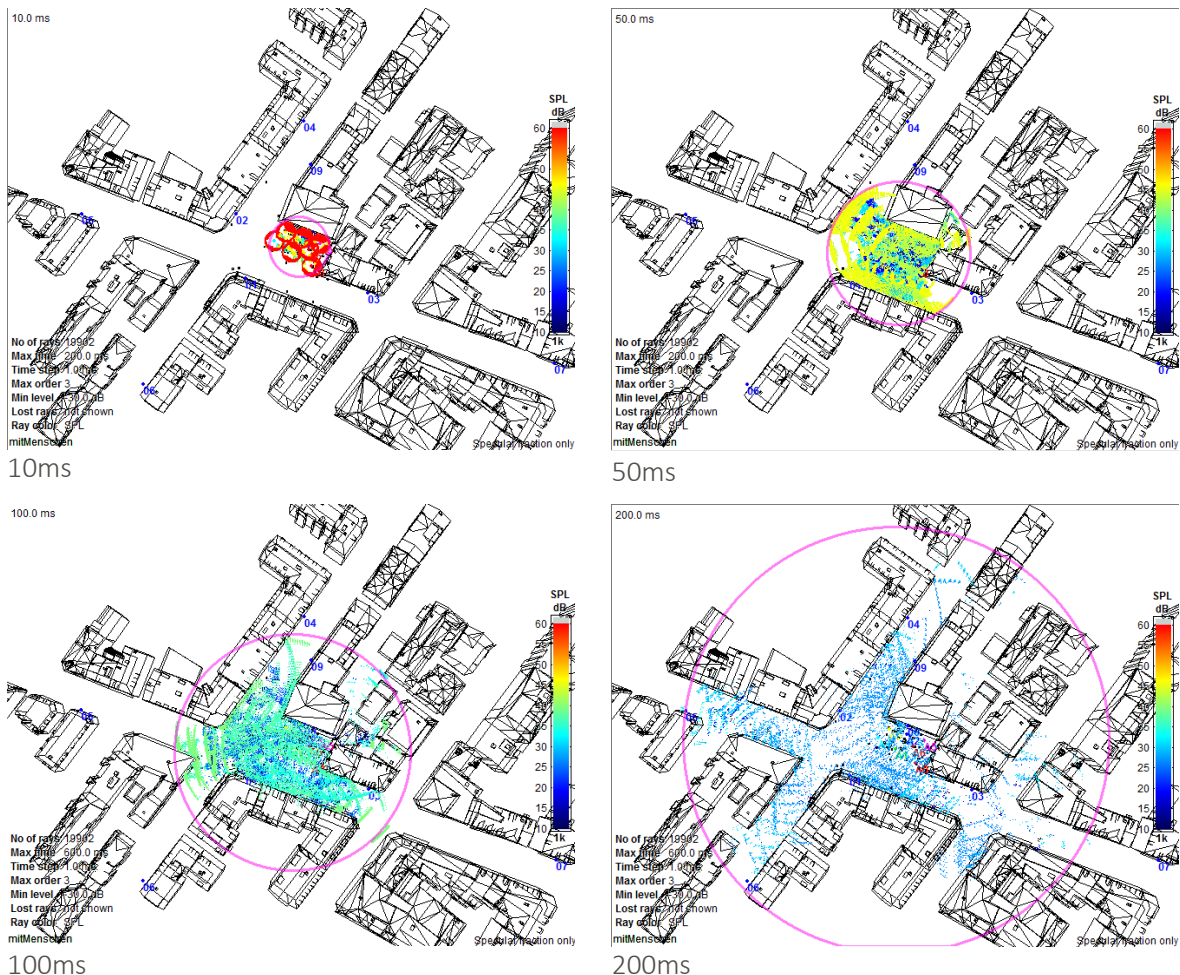


Abbildung 13: Schallausbreitung im 3D-Stadtmodell, ausgehend von der Piazza Cella, Kreise kennzeichnen die ungefähre Position der primären Schallwelle.

Abbildung 14 zeigt die integrierten Schalldruckpegel an den neun, in Abbildung 4 definierten, Abhörpositionen und den Zielwert von minus 10 dB.

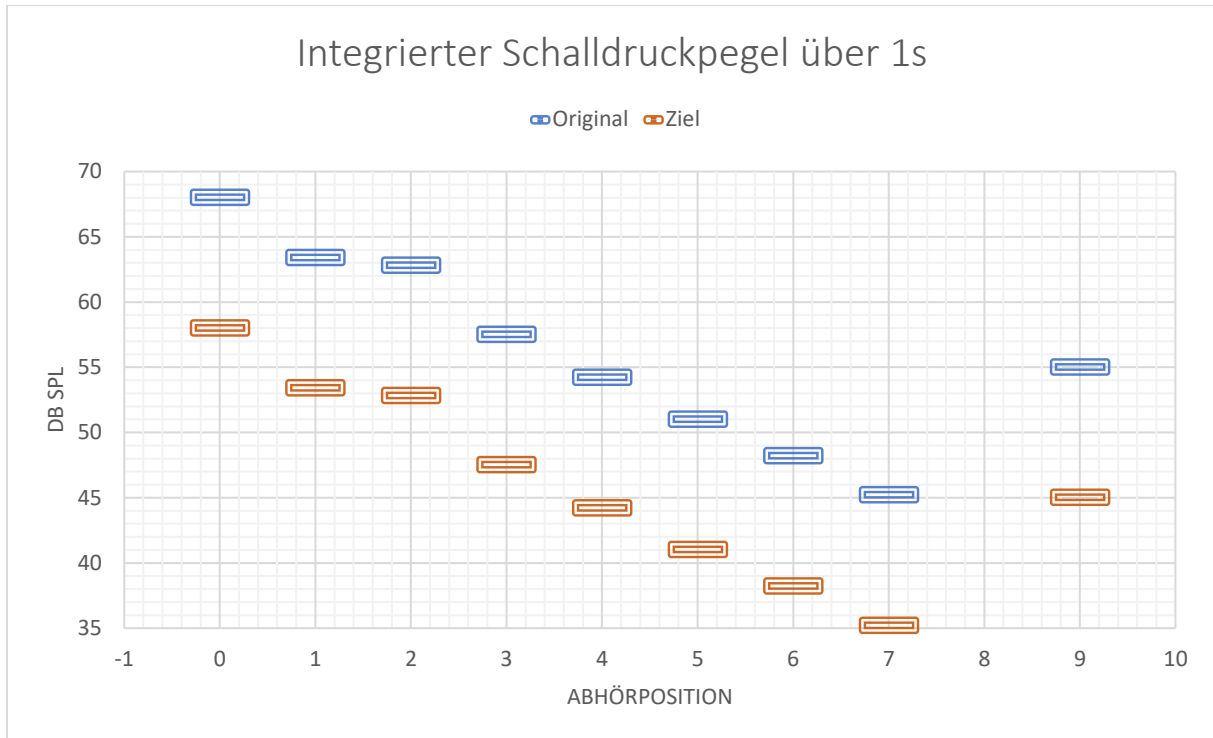


Abbildung 14: dB SPL Werte an den definierten Abhörpositionen, Summe aller Frequenzbänder integriert über eine Sekunde. In blau die berechneten Werte der Ausgangssituation, in rot das Ziel von minus 10dB.

Für die Grundsituation ergibt sich ein gewichteter Mittelwert von:

$$L_{m,Grund} = 57.6 \text{ dB.}$$

Für die eingetragenen Zielwerte ergibt sich per Definition eine gewichtete mittlere Reduktion von:

$$\Delta L_{m,Ziel} = 10 \text{ dB.}$$

8.1.2. Schallschutzschirm

Als erste grobe Massnahme wurde die Auswirkung eines kompletten, absorbierenden Schallschutzschirmes über der Piazza Cella simuliert, was die Schallausbreitung des Primärschalls in z-Richtung unterdrückt. Die Wirkung ist durch die Grösse des Schallschutzschirmes beschränkt.

Abbildung 15 zeigt die verwendete simple Geometrie. Und Abbildung 16 zeigt die entsprechenden integrierten dB SPL Werte.

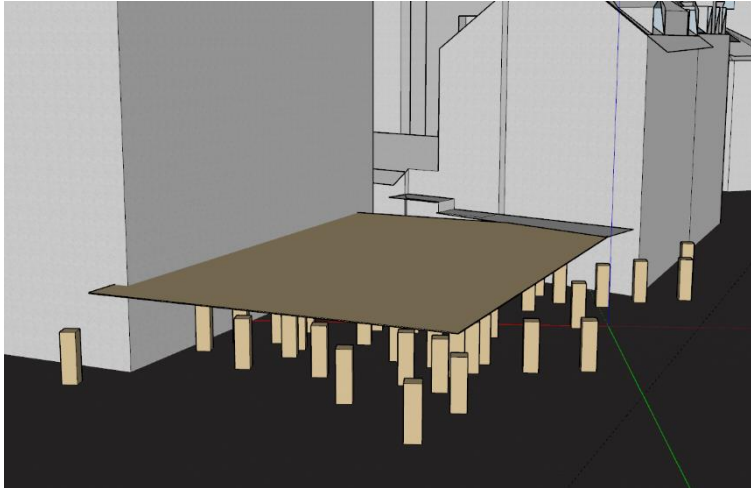


Abbildung 15: Schallschutzschirm.

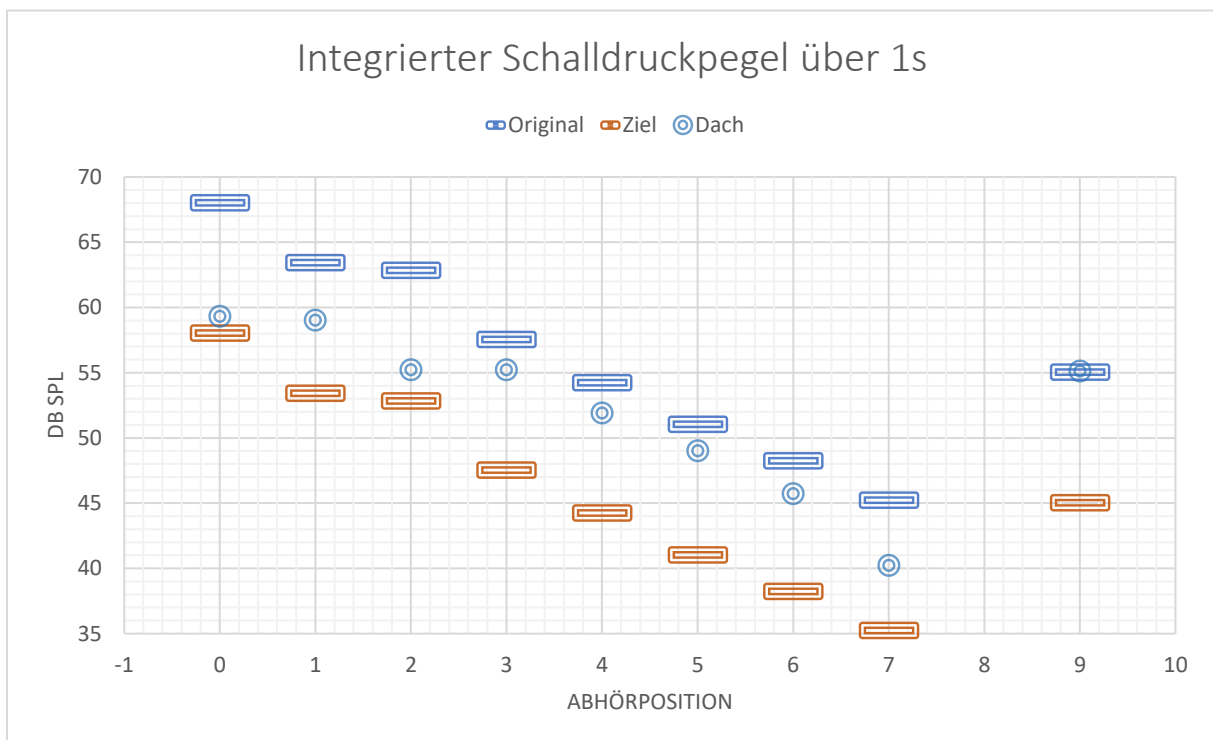


Abbildung 16: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die hellblauen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit Schallschutzschirm.

Wie zu erwarten bei einem solch drastischen Eingriff ergeben sich deutliche Reduktionen. Besonders an Abhörposition 0, die sich direkt über dem Schallschutzschirm befindet. Position 1 und 2 sind an den gegenüberliegenden Fassaden an der Langstrasse und Diererstrasse und sie verlieren durch das Einbringen des Schallschutzschirms fast den gesamten Direktschall, was ebenfalls zu guter Reduktion führt.

Sehr deutlich ist dann jedoch zu sehen, dass die Reduktion entlang der Strassen, Positionen 3 - 9, weniger extrem ausfallen. An diesen Positionen trifft zum grössten Teil reflektierter Schall auf, der in flachem Winkel abgestrahlt wurde und folglich nicht vom Schallschutzschirm tangiert wird.

Dank der massiven Reduktion der lautesten Originalsignale ergibt sich für diese Massnahme eine gewichtete Reduktion:

$$\underline{\Delta L_{m,Schirm} = 4.2 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Wirksamkeit lokal gegen oben • Bescheidene Wirkung auf Reflexionen in die Strassen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Unrealistisch • Evtl. in reduzierter Version fix denkbar
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Erheblich
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt

8.1.3. Absorbierender Boden/Flüsterbelag

Als weitere grobe Massnahme wurde die Wirkung der kompletten Absorption des am Boden reflektierten Schalls simuliert. Wie Abbildung 17 zeigt wurde dafür vereinfacht der Boden im gesamten Quartier als starker Schallabsorber angenommen. Ob dies den realen Eigenschaften eines Flüsterbelags nahe kommt ist in diesem Schritt noch nicht berücksichtigt.

Diese Massnahme ist insbesondere sehr interessant als dass aus der Praxis bereits bekannt ist, dass Flüsterbeläge, wie z.B. der SDA-4 auch eine Reduktion des von Fahrzeugen erzeugten Schalldruckpegels von ca. 6dB erzielen. Dies entspricht einer Anlogsituation mit nur einem Viertel der Fahrzeuge.



Abbildung 17: Komplet absorbierender Boden im gesamten Quartier.

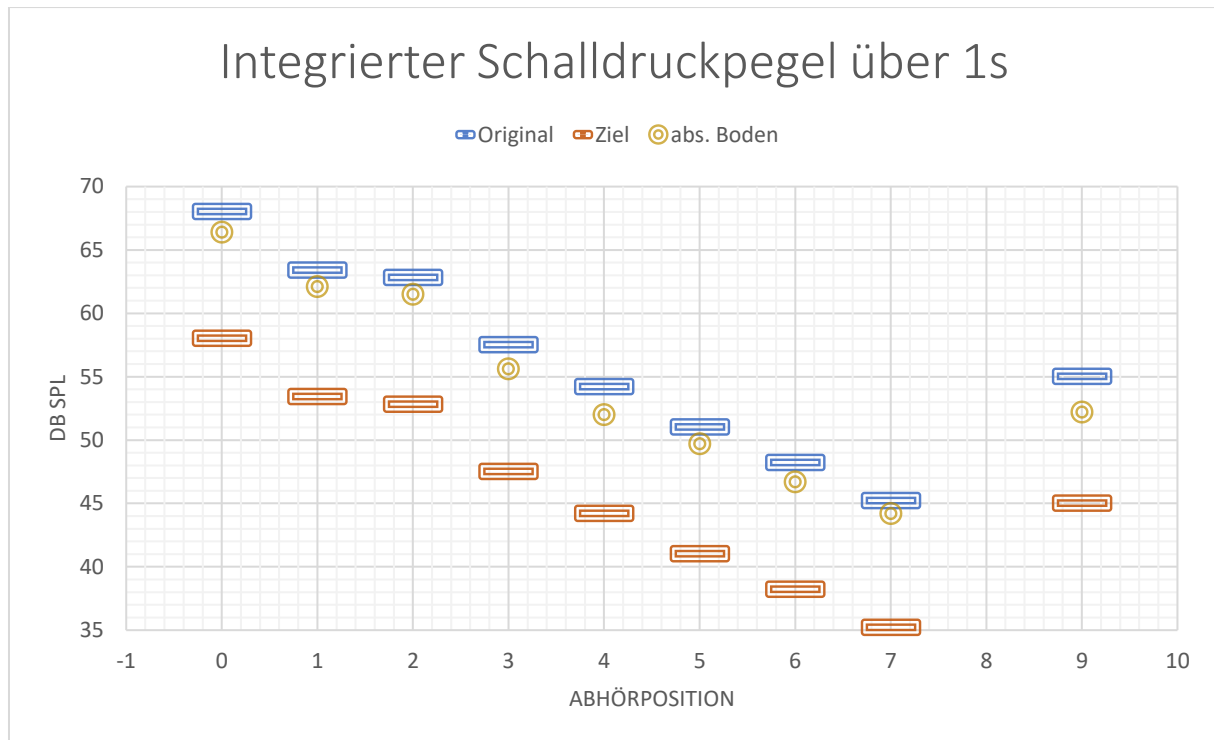


Abbildung 18: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die goldenen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit komplett absorbierendem Boden.

Wie in Abbildung 17 zu sehen ergibt sich durch die Absorption der Bodenreflexion eine durchgehende, relativ konstante Reduktion des integrierten Schalldruckpegels an allen Abhörpositionen.

Die gewichtete Reduktion errechnet sich als:

$$\underline{\Delta L_{m,Boden} = 1.6 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Globale Wirkung, auch bei anderer Quellenposition • In Kombination mit Reduktion des Direktschalls nach oben sehr interessant • Wirkung auf Strassenlärm aus Praxis bekannt, signifikant, ca. -6dB.
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Erheblich, da Flüsterbeläge kürzere Lebensdauer aufweisen als Herkömmliche.
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.4. Schallschutzteppich

Technisch eine einfachere Variante wäre das Auslegen eines schallabsorbierenden Teppichs lokal auf der Piazza Cella. Dies könnte in einer permanenten Variante auch ein Granulatboden sein.

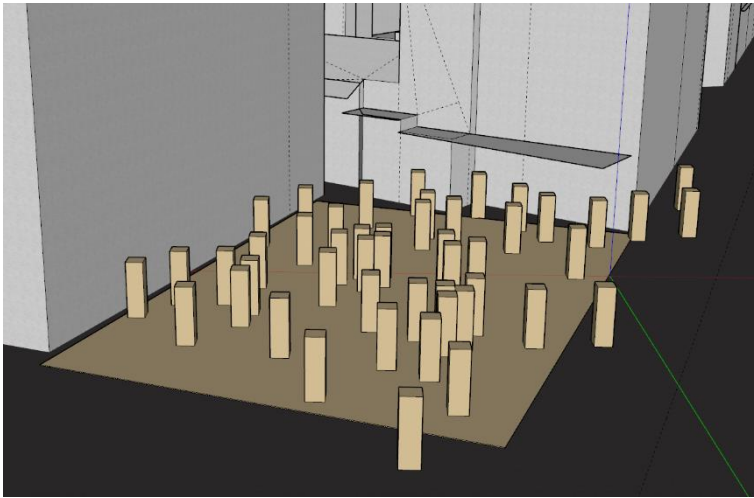


Abbildung 19: Schallschutzteppich.

Dieser wirkt auf den primären vom Boden reflektierten Schall. Da dieser bereits teilweise von der Menschenmenge absorbiert wird, ist davon aber eine geringere Wirkung zu erwarten. Da ausserdem der Schallschutzteppich nur lokal wirkt und Reflexionen auf der schallharten Strasse weiterhin mitwirken, reduziert sich die erwartete Wirkung weiter.

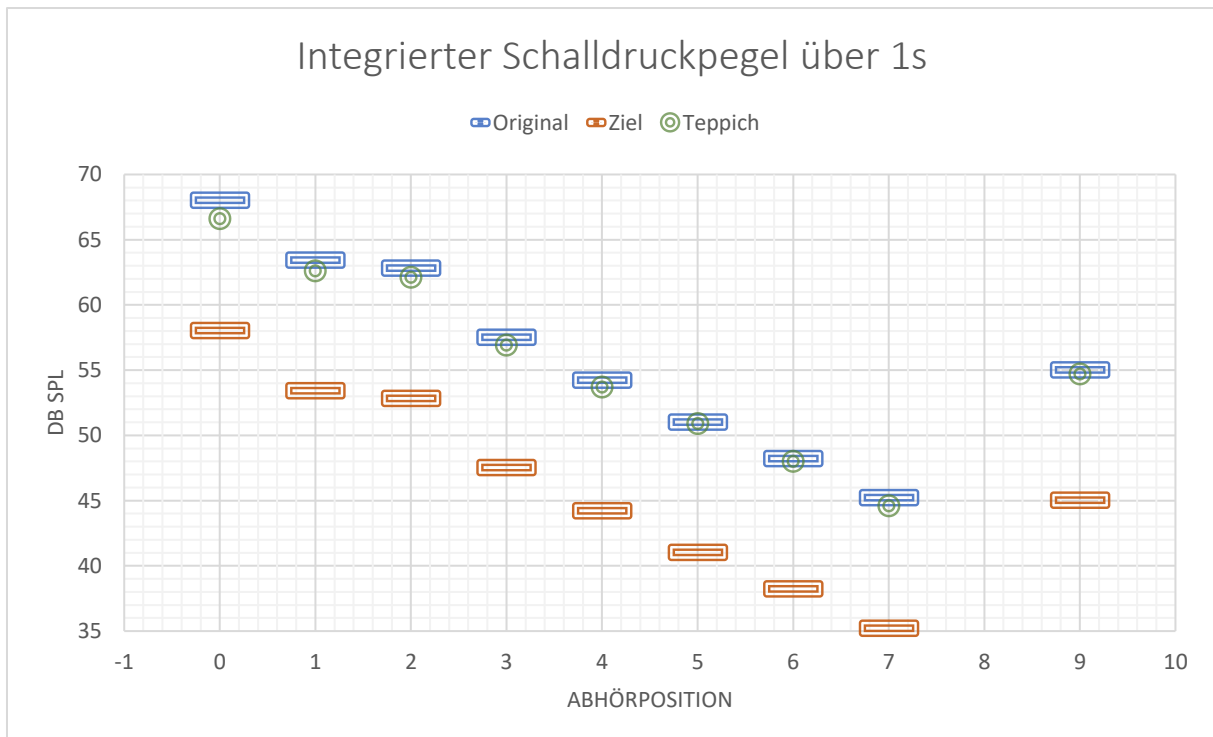


Abbildung 20: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die grünen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit Schallschutzteppich.

In den Resultaten in Abbildung 20 ist eine bescheidene aber durchgehende Wirkung auf alle Abhörpositionen zu sehen.

Diese ergibt eine gewichtete Reduktion von:

$$\underline{\Delta L_{m,Teppich} = 0.8 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen • In Kombination mit Reduktion des Direktschalls nach oben denkbar
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Mobil oder • Fix möglich
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Handhabbar
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ Unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.5. Schallschutzwand

Um die mögliche Wirkung einer Massnahme «auf Augenhöhe» zu prüfen wurde eine durchgehende, schallabsorbierende, 2m hohe, Schallschutzwand um die gesamte Piazza Cella gelegt.

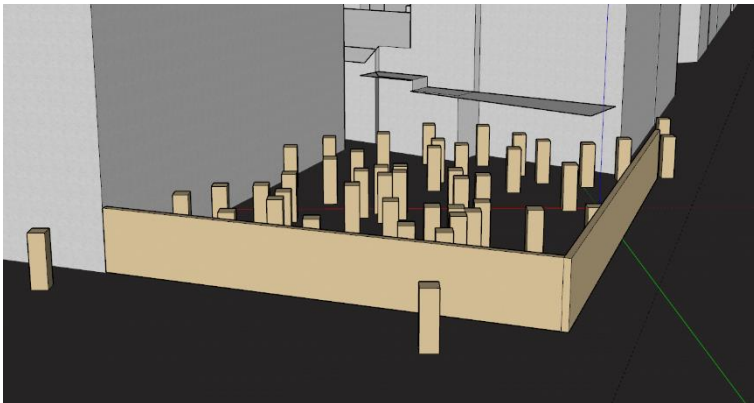


Abbildung 21: Durchgehende Schallschutzwand von 2m Höhe als maximal Variante einer Massnahme «auf Augenhöhe».

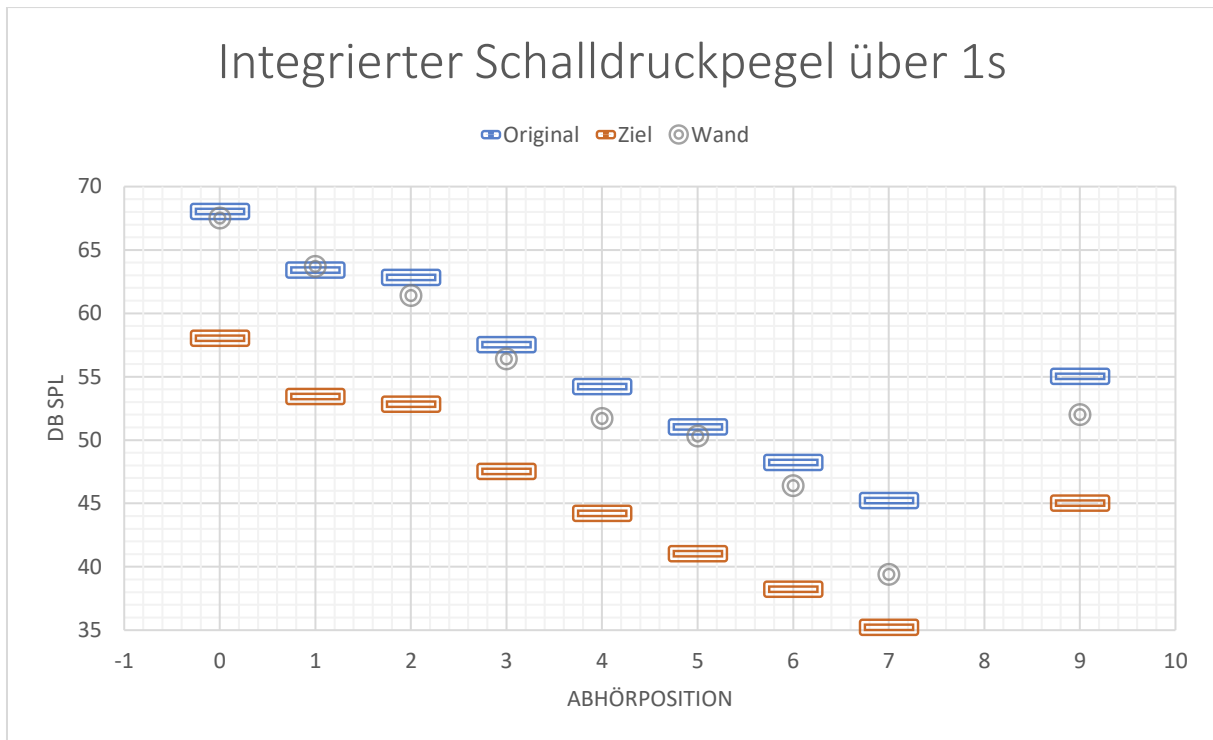


Abbildung 22: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die graue Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit Schallschutzwand.

Die erzielten Reduktionen sind stark abhängig von der exakten Quellen- und Abhörposition und ergeben in der Simulierten Konfiguration eine gewichtete Reduktion von:

$$\underline{\Delta L_{m,Wand} = 0.9 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

<ul style="list-style-type: none"> • Akustik 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • In dieser Form unrealistisch, reduziert: • Fix oder • Mobil möglich
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Handhabbar
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Leichte Vandalismus Gefahr
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.6. Schallschutzscreen

Grundsätzlich in der gleichen geometrischen Ebene wie die Schallschutzwand aber in der Höhe nach Oben verschoben ergibt sich ein schallabsorbierender Screen. Um von den meisten Positionen auf dem Platz aus die Sicht auf die bewohnten oberen Stockwerke der umliegenden Häuser zu verdeckt wurde ein Schallschutzscreen mit einer Höhe von 6m simuliert, siehe Abbildung 23.

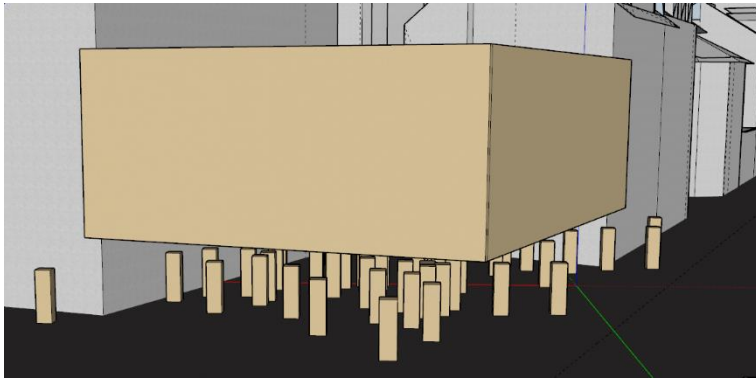


Abbildung 23: Durchgehender massiver Schallschutzscreen von 6m Höhe.

Damit wird die Ausbreitung des Primärschalls in diese Richtung unterbrochen, was eine erhebliche Reduktion des integrierten Schalldruckpegels an diesen Abhörpositionen (1 und 2) ergibt, wie Abbildung 24 zeigt. An den Positionen 3 bis 9 fehlt der von diesen Flächen reflektierte Anteil des Schalls und eine durchgehende Reduktion der Lärmbelastung wird erreicht.

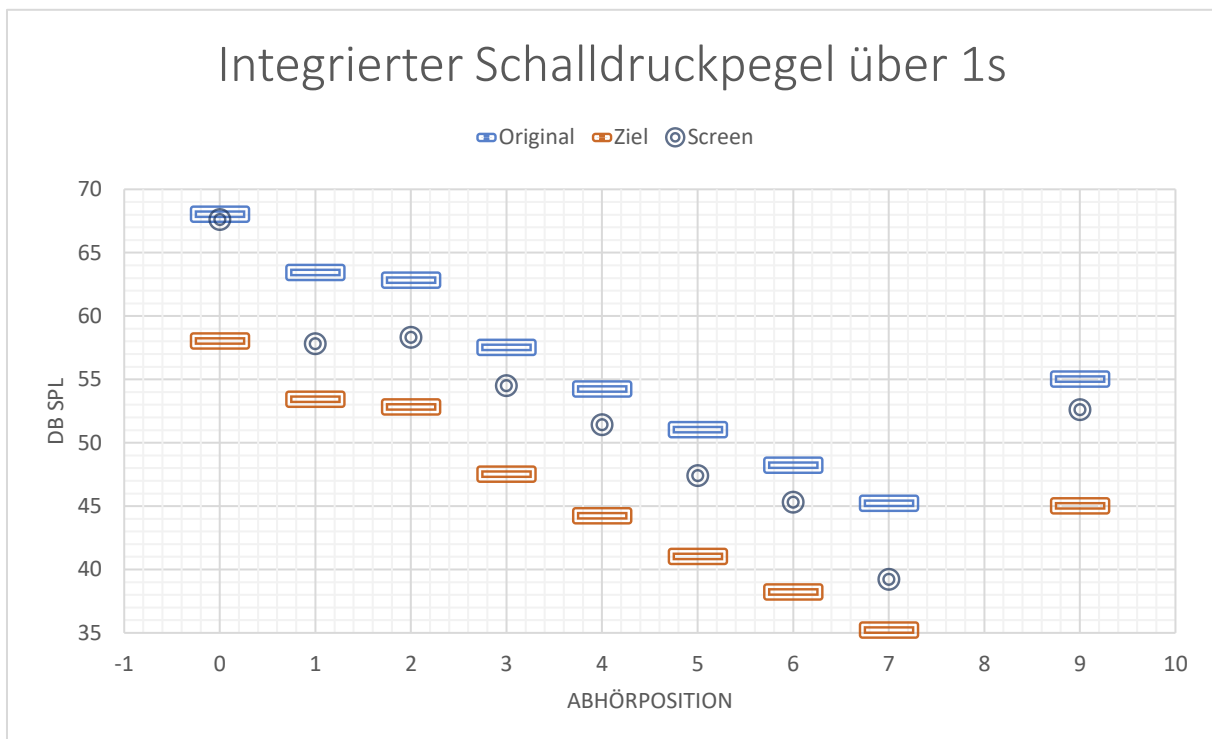


Abbildung 24: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die dunklen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit Schallschutzscreen.

Die erzielten Reduktionen sind in dieser Variante relativ durchgehend und es ergibt sich eine gewichtete Reduktion von:

$$\underline{\Delta L_{m,Screen} = 2.9 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	• Gute Wirkung durch Absorption des Primärschalls im korrekten Raumwinkel
Installation	• Unrealistisch
Kosten	• -
Betrieb	• -
Standort	• Öffentlicher Grund

8.1.7. Reflexion an Screen

Materialtechnisch einfacher wäre eine Variante, bei der der Schall Richtung Himmel reflektiert werden würde. Dies stellt wesentlich geringere Anforderungen an die verwendeten Materialien und den Schutz den diese vor den Elementen benötigen und wäre damit einfacher und voraussichtlich preisgünstiger in der Umsetzung.

Abbildung 25 zeigt eine Variante eines zweigeteilten Screens, an der Position des zuvor, unter 8.1.6, Beschriebenen. Die Winkel sind so gewählt, dass bei Quellenposition in der Platzmitte eine Reflexion des emittierten Schalls Richtung Himmel erfolgt.

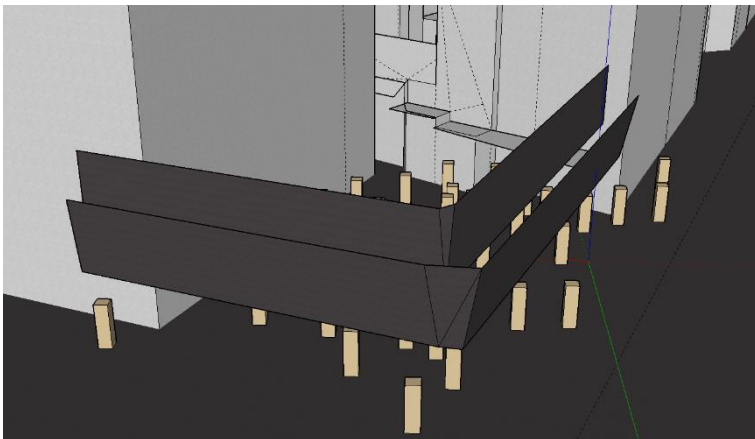


Abbildung 25: Zweiteiliger reflektierender Screen.

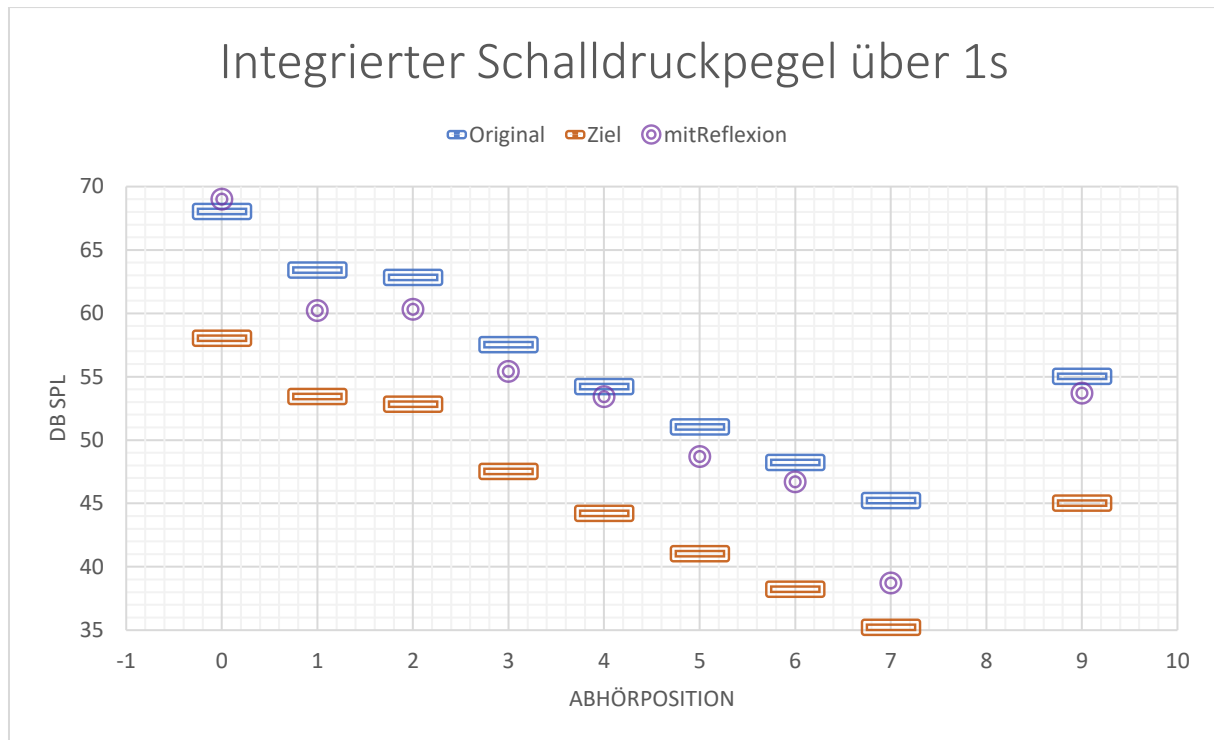


Abbildung 26: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die lila Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit Reflexion an zweigeteiltem Screen.

Abbildung 26 zeigt eine durchmischte Reduktion. Auf Position 0, wird nun zusätzliche Schallenergie reflektiert und an den übrigen Abhörpositionen zeigt sich wiederum eine starke Sensitivität auf die exakten Positionen der Quellen und Empfänger.

Es ergibt sich für diese Massnahme eine gewichtete Reduktion von:

$$\underline{\Delta L_{m,Reflexion} = 1.3 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> Wirkung stark von exakter Geometrie, Quellen und Empfänger Position abhängig: Gut bis hin zu möglicher Erhöhung des Pegels Geometrie müsste sorgfältig überarbeitet werden, für eine mögliche Umsetzung
Installation	<ul style="list-style-type: none"> Fix, rel. kompliziert da hängend Witterungsfestigkeit problemlos
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> Mittel, bedingt durch, hängende Konstruktion Materialtechnisch einfach – billig
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> Unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> Öffentlicher Grund

8.1.8. Absorbierende Fassaden

Um die potentielle Wirkung bei Massnahmen die an den Fassaden ansetzen aus zu loten, wurde eine Simulation gerechnet bei der alle Fassaden im Quartier als starker Absorber angenommen wurden.

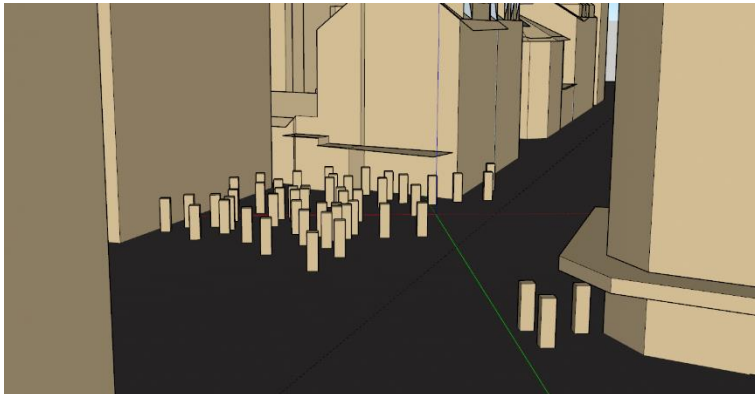


Abbildung 27: Modell mit global absorbierenden Fassaden im Quartier.

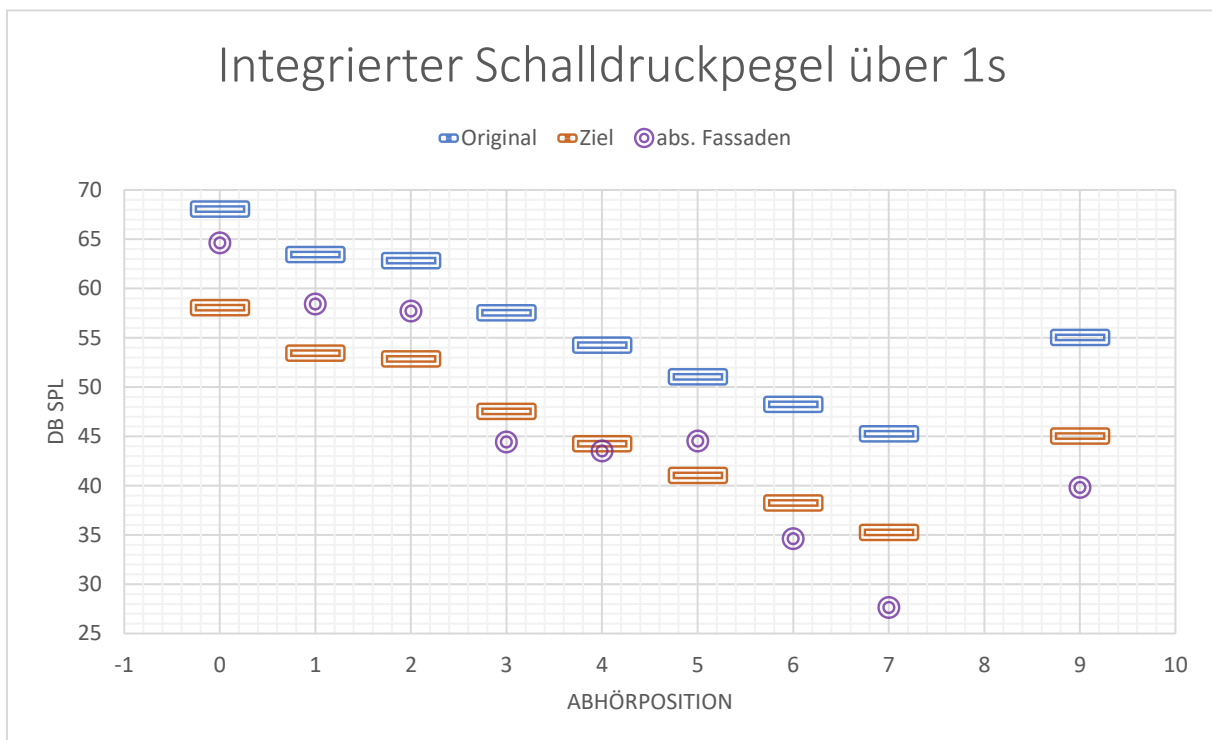


Abbildung 28: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die violetten Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit absorbierenden Fassaden im ganzen Quartier.

Die Wirkung ist, erwartungsgemäss gross, da sich, wie eingangs erklärt, der integrierte Schalldruckpegel an den meisten Abhörpositionen zum allergrössten Teil aus Reflexionen von Fassaden zusammensetzt.

Für die gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m,abs.Fassaden} = 5.8 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Unrealistisch
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • -
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • -
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Privater Grund

8.1.9. Absorbierende Fassaden nahe am Platz

Auf Grund der sehr guten Ergebnisse der oben beschriebenen Simulation wurde eine weitere Simulation berechnet bei der die beiden Fassaden direkt an der Piazza Cella als absorbierend angenommen wurden. Diese beiden Fassaden sind die am stärksten beschallten Fassaden und ihre Bedämpfung sollte bereits einen grossen Einfluss auf die Schallausbreitung haben.

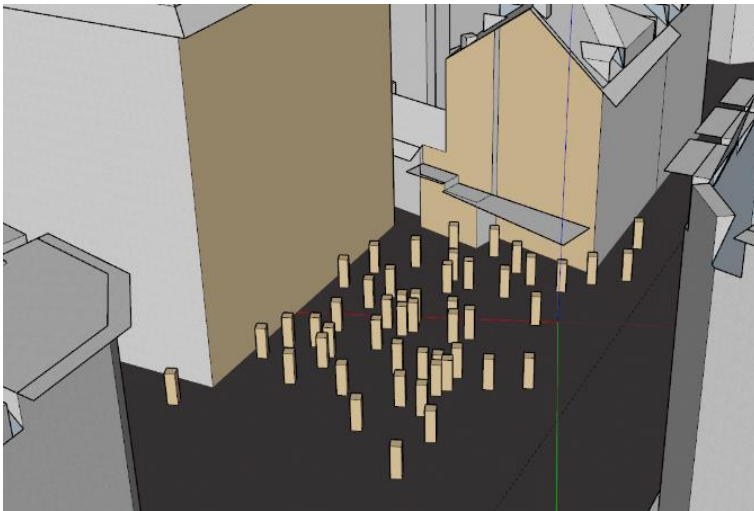


Abbildung 29: Modell mit absorbierenden Fassaden an der Piazza Cella.

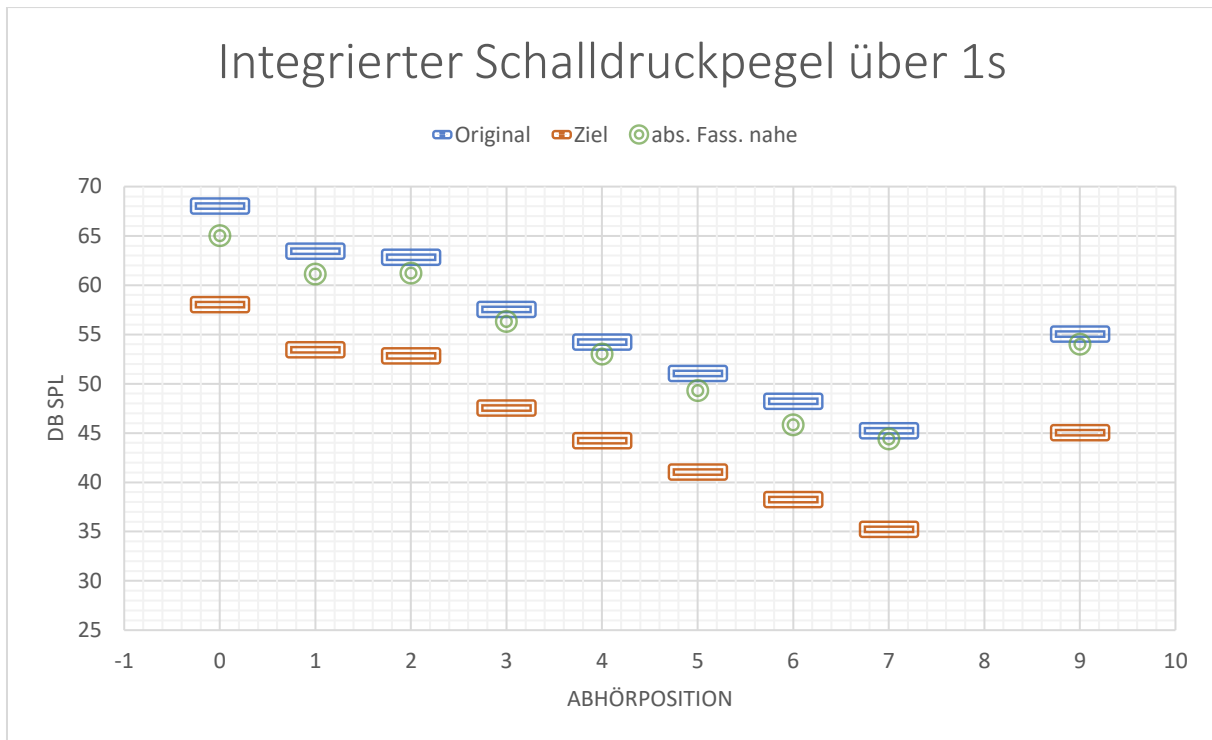


Abbildung 30: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die grünen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit absorbierenden Fassaden nahe am Platz.

In der Wirkung der Massnahme zeigt sich eine globale Reduktion an allen Abhörpositionen, die besonders an den lautesten Positionen gut greifen.

Für die gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m,abs.Fass.nahe} = 1.9 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Unklar
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Privater Grund

8.1.10. Massnahme am Platz

Aus den bis hierhin beschriebenen groben Eingriffe wurde als erste Erkenntnis folgendes festgehalten:
Die wirkungsvollsten Massnahmen ergeben sich aus dem Absorbieren des Schalls über einen möglichst grossen Raumwinkel in Schallausbreitungsrichtung.

Aus dieser Hypothese wurde die in den folgenden Abbildungen dargestellte Massnahme erarbeitet. Sie ergibt sich als Mischung aus «Schallschutzschirm» und «Schallschutzscreen», die mit weniger Material die entscheidenden Winkel abdeckt. Und Sie stellt ein erster Schritt Richtung möglicher Realisierung dar.

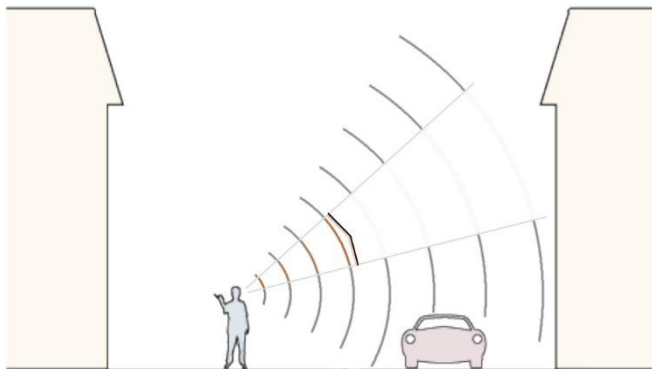


Abbildung 31: Schema der erarbeiteten Massnahme für die Piazza Cella.

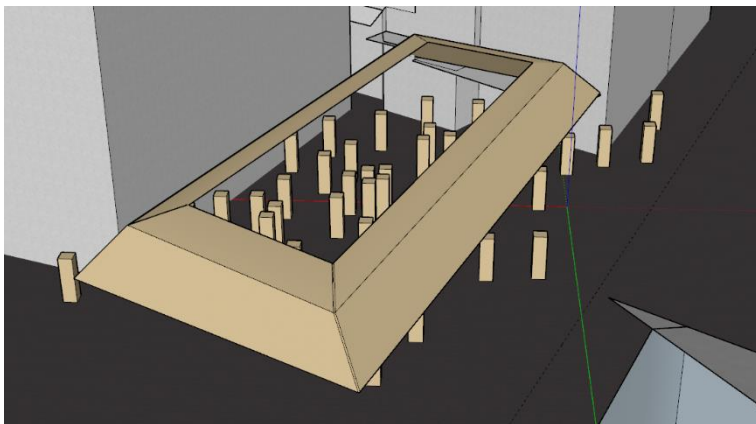


Abbildung 32: Sicht von schräg oben auf die erarbeitete Massnahme für die Piazza Cella.

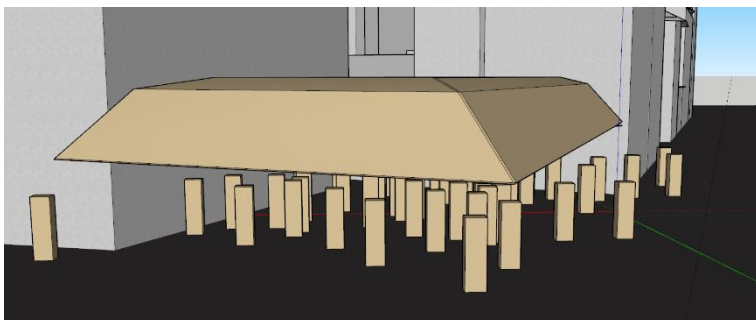


Abbildung 33: Sicht von der Seite auf die erarbeitete Massnahme für die Piazza Cella.

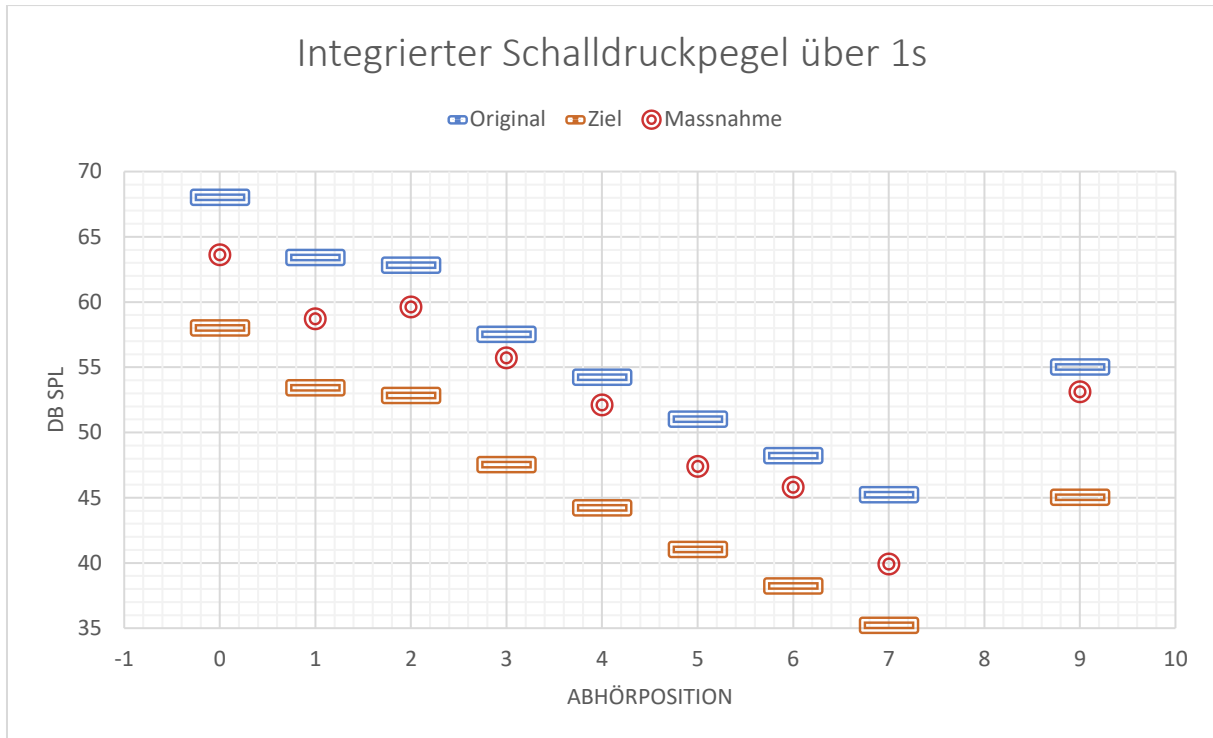


Abbildung 34: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die roten Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit dedizierter Massnahme am Platz.

Wie Abbildung 34 zeigt ergibt sich damit eine gute Reduktion an den meisten Abhörpositionen und eine gewichtete Reduktion von

$$\underline{\Delta L_{m,Massnahme} = 3.3 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> Gute Wirkung durch Absorption des Primärschalls im korrekten Raumwinkel
Installation	<ul style="list-style-type: none"> Fix oder Mobil als offenes «Zelt» denkbar
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> Handhabbar
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> Recht unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> Öffentlicher Grund

8.1.11. Massnahme über den Strassen

Weiter wurde die Wirkung einer über den Strassen platzierten Massnahme getestet. Den selben geometrischen Überlegungen folgend, wie oben unter 8.1.10 beschrieben, wurden absorbierende, 1.5m hohe Elemente in einem 45° Winkel, ca. links und rechts der Oberleitungen der Busse platziert, siehe Abbildung 35 und Abbildung 36.

Diese Variante widerspricht dem Grundsatz, akustische Massnahmen entweder am Emissions- oder am Immissionsort zu planen. Im vorliegenden Fall sind jedoch beide Positionen nicht scharf definiert und die Immissionen sollen über einen weit ausgedehnten Raum reduziert werden. Aus diesen Gründen wurde diese Massnahme entwickelt, in der Hoffnung, dass sie viele der den Strassenzügen entlangwandernden Reflexionen auffangen könnte.

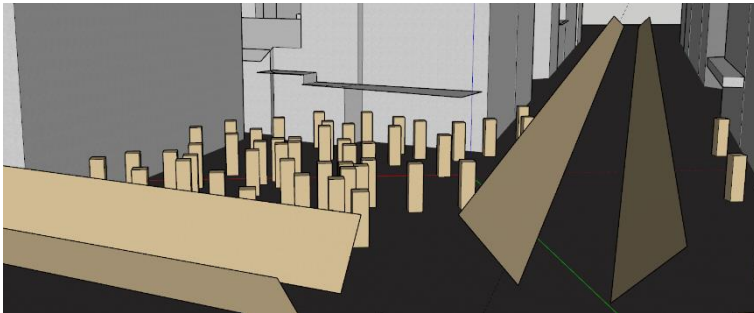


Abbildung 35: Sicht von der Seite auf die erarbeitete Massnahme entlang der Strassen.



Abbildung 36: Sicht von oben auf die erarbeitete Massnahme entlang der Strassen.

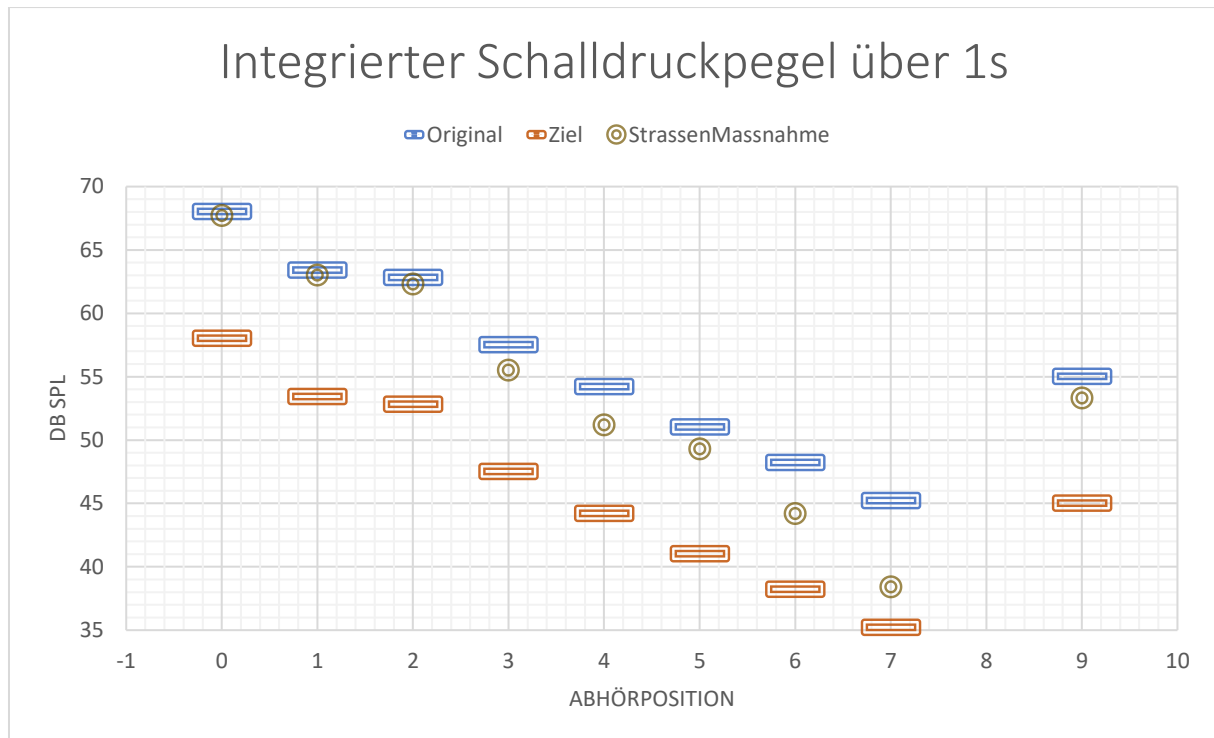


Abbildung 37: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die braunen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit der Massnahme entlang der Strassen.

Wie zu erwarten ist nimmt diese Massnahme keinen Einfluss auf die lautesten Abhörpositionen 00 bis 02, direkt am Platz, für die Abhörpositionen entlang der Strassen ergibt sich jedoch eine klare, leichte Absenkung des Schalldruckpegels.

Hier ist zu bemerken, dass diese Massnahme simultan, auf die hier simulierten Geräusche mit Ursprung auf der Piazza Cella, auf solche die von Passanten entlang der Strassen, siehe 8.2.1, entstehen, als auch auf Verkehrslärm wirken kann.

Die gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich für diese Massnahme aufgrund der unveränderten lautesten Abhörpositionen nur zu:

$$\underline{\Delta L_{m,StrasseMassnahme} = 0.9 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Widerspricht dem Prinzip der Handlung am Emissions- oder Immissionsort • Erzeugt überraschend gute Reduktionen entlang der Strassenschluchten • Simultane Wirkung auf unterschiedliche Emissionen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Modular • Mobil oder • Fix denkbar
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Recht unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.12. Cubes verteilt über Platz und Strassen

Um die Wirkung einer weniger massiv eingreifenden Massnahme zu testen wurde in einer weiteren Simulation eine Vielzahl absorbierender Kuben über den Platz und die angrenzenden Strassenteile gehängt. Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen eine Ansicht seitlich aus der Nähe und Eine von Oben.

Eine solche Massnahme wäre ästhetisch evt. interessanter.

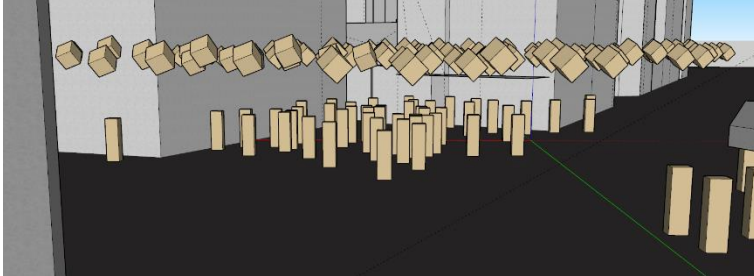


Abbildung 38: Hängende, absorbierende Kuben, von der Seite gesehen.



Abbildung 39: Absorbierende Kuben über der Piazza Cella und den angrenzenden Strassenabschnitten.

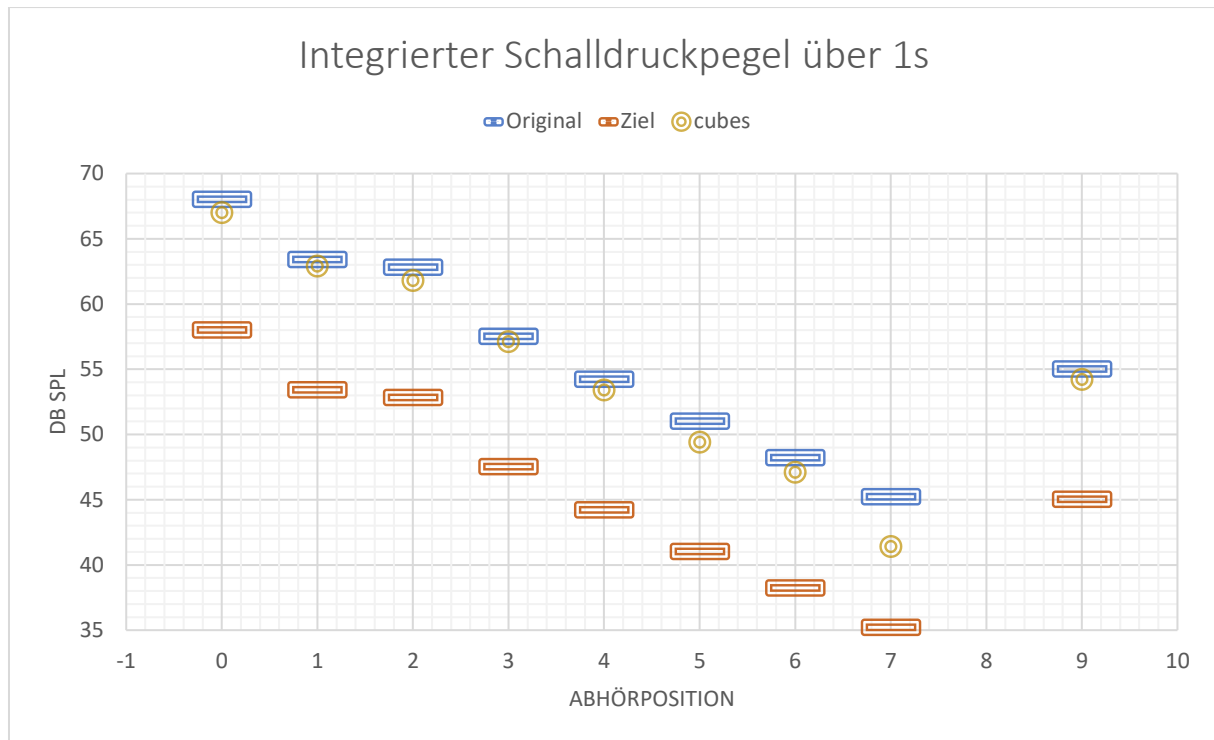


Abbildung 40: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die gelben Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit dezentral verteilten Kuben.

Abbildung 40 zeigt, dass die Wirkung der absorbierenden Kuben, bis auf an der sehr weit entfernten Abhörposition 7, sehr gering ist. Der Grossteil des abgestrahlten Schalls sieht die Kuben nicht und propagiert ungehindert weiter.

Als gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich dann auch nur:

$$\underline{\Delta L_{m,Cubes} = 0.8 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Modular • Mobil
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Witterungsfestigkeit?
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.13. Massnahme an den Fassaden

Wie die unter 8.1.8 beschriebene Simulation gezeigt hat scheint eine Massnahme an den Fassaden prinzipiell interessant, da die theoretisch erreichbaren Reduktionen erheblich sind.

Wie in der «Evaluation technischer Mittel und Möglichkeiten» beschrieben existiert die Möglichkeit mit absorbierenden Elementen an den Hausfassaden zu arbeiten. Dies entspricht einer Massnahme am Immissionsort.

Um eine maximale Wirkung auf die, den Strassen entlang wandernden Reflexionen zu erreichen, während gleichzeitig realistischer zu bleiben als unter 8.1.8, wurden in dieser Simulation Elemente normal zur Fassadenoberfläche platziert.

Da durch parallel an den Fassaden angebrachten Elemente aber eine ähnliche Fläche aufgespannt wird, könnte in Realität auch diese Variante gewählt werden. Sollte diese Massnahme weiterverfolgt werden, müsste überprüft werden, welche Variante einfacher an den Fassaden zu montieren ist.

Die folgenden Abbildungen zeigen die verwendeten Elemente die eine Höhe von 9m aufweisen und theoretisch modular und mobil einsetzbar gedacht werden könnten.



Abbildung 41: Absorbierende Elemente an den Fassaden.



Abbildung 42: Fassadenelemente an den Fassaden in der Umgebung der Piazza Cella, in Gelb markiert.



Abbildung 43: Simulierte Fassadenelemente aus Passanten Sicht.

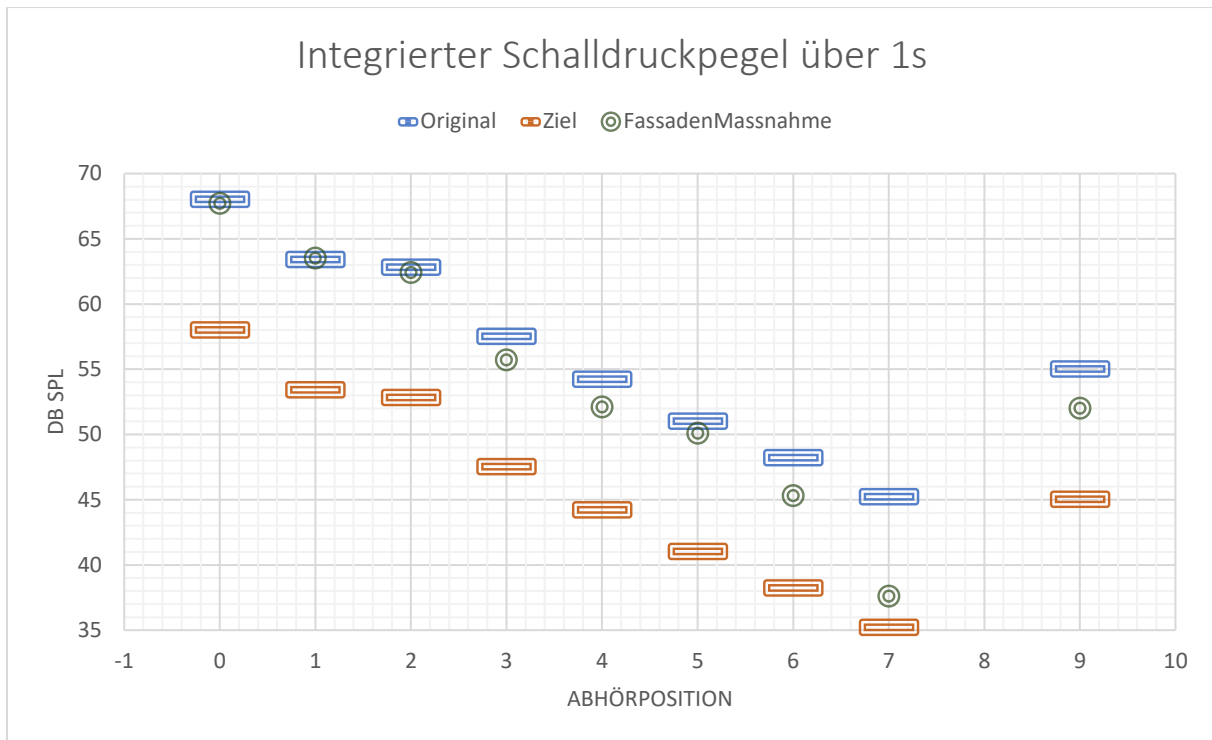


Abbildung 44: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die dunkel grünen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit dedizierter Massnahme an den Fassaden.

Als gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich:

$$\underline{\Delta L_{m,Fassaden} = 0.8 \text{ dB.}}$$

Dies ist eine geringe mittlere Wirkung, was zu einem grossen Teil daher rührt, dass diese Massnahme wiederum gar nicht auf die Abhörpositionen mit den grössten integrierten Schalldruckpegeln wirkt.

Verglichen mit der Wirkung die in der Simulation mit komplett absorbierenden Fassaden durchgeführt wurde, ist diese Reduktion erstaunlich gering.

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Modular • Mobil oder • Fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Witterungsfestigkeit?
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Privatgrund

8.1.14. Minimal Massnahme

Eine einfach umsetzbare minimale Massnahme stellt das Einfügen von mehreren kleinen Schallschutzwänden zwischen die bestehenden Sitzbänke und entlang bestehender Objekte dar.



Abbildung 45: Sitzbänke auf der Piazza Cella.



Abbildung 46: Schallschutzwände, positioniert zwischen die Sitzbänke und entlang einiger bestehender Objekte.

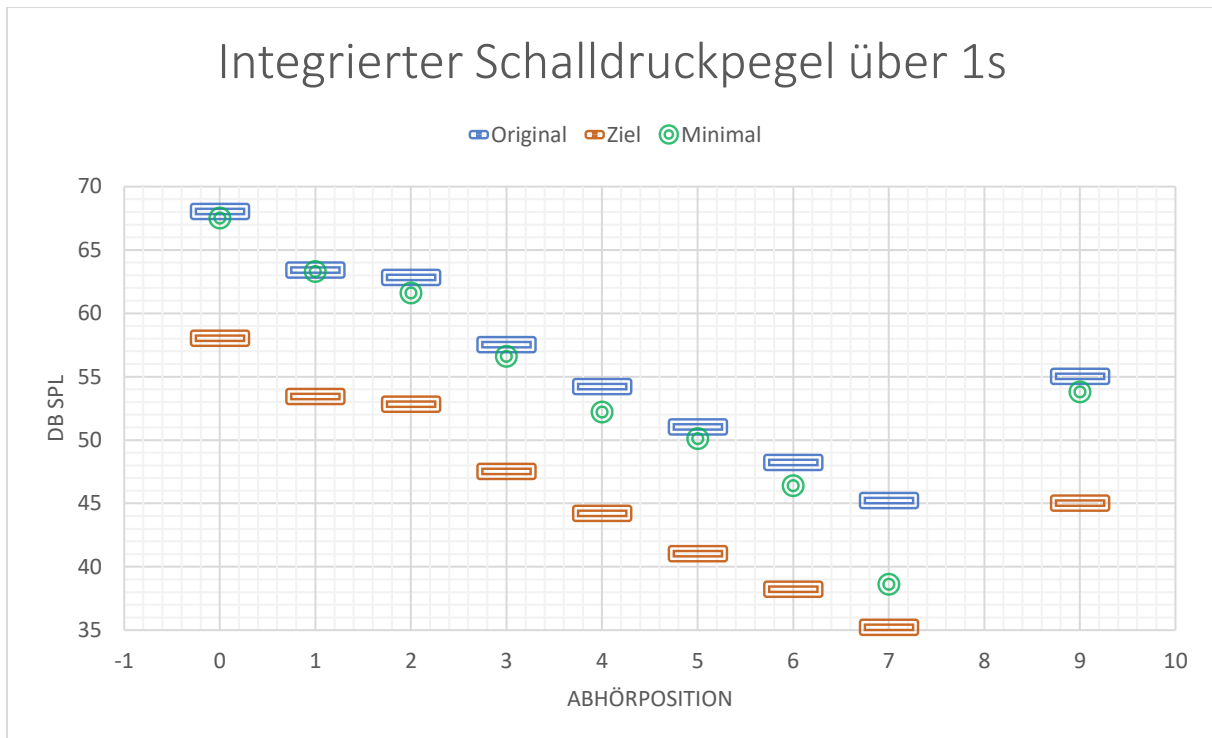


Abbildung 47: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die hellgrünen Kreise kennzeichnen die Werte für die Situation mit einzelnen, über den Platz verteilten, kleinen Schallschutzwänden.

Dank der Nähe der Massnahme zu den emittierenden Quellen ergibt sich trotz des minimalen Eingriffes noch eine nachweisliche Reduktion der Schalldruckpegel an den meisten Abhörpositionen. Wiederum ist der Effekt an den lautesten Positionen geringer was in die berechnete gewichtete mittlere Reduktion einfließt:

$$\underline{\Delta L_{m,Minimal} = 0.8 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fix oder • Mobil möglich
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Gering
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Vandalismus Gefahr
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.1.15. Maximal Massnahme

Auf der anderen Seite wurden in der folgenden Simulation die vier akustisch wirkungsvollsten Massnahmen kombiniert:

1. Massnahme am Platz
2. Absorbierender Boden
3. Massnahme über den Strassen
4. Absorbierende Fassaden am Platz

Diese wirken auf komplementäre Teile des Schalls und führen zu einer quasi kompletten Abdeckung der Raumwinkel.

Die Kombination führt ausserdem, dank des Flüsterbelages und den absorbierenden Fassaden, zu einer Reduktion des, am Emissionsort wahrgenommenen, Geräuschpegels, was dank des Lombard-Effekts eine positive Wirkung auf die Sprechlautstärke haben könnte. Hier ist zu bemerken, dass die, in der Simulation unberücksichtigten, Lärmemissionen des Strassenverkehrs durch einen Flüsterbelag ebenfalls erheblich vermindert würden, was den Lombard-Effekt massgebender beeinflussen dürfte, als die Wirkung der Absorption der Sprachemissionen.

Die Kombination aus den hier realisierten Massnahmen am Platz und entlang der Strassen dürfte des Weiteren dazu führen, dass die Emitter aus Sicht der Anwohner Grossteils verborgen werden, was als weiterer psycho-akustischer Effekt dazu führt, dass die Emitter als subjektiv weniger Störend wahrgenommen werden.

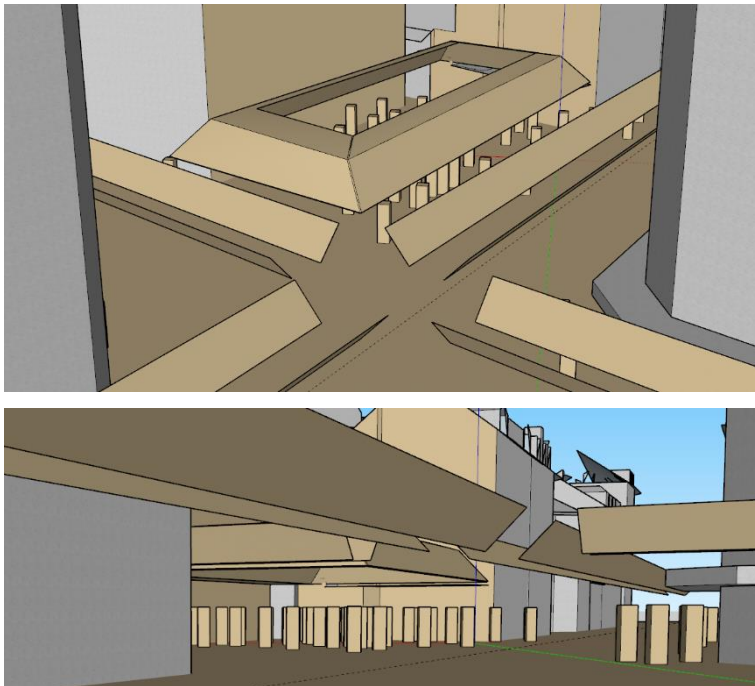


Abbildung 48: Kombinierte «maximal Massnahme» mit Flüsterbelag, absorbierenden Fassaden am Platz, Massnahmen am Platz und entlang der Strassen.

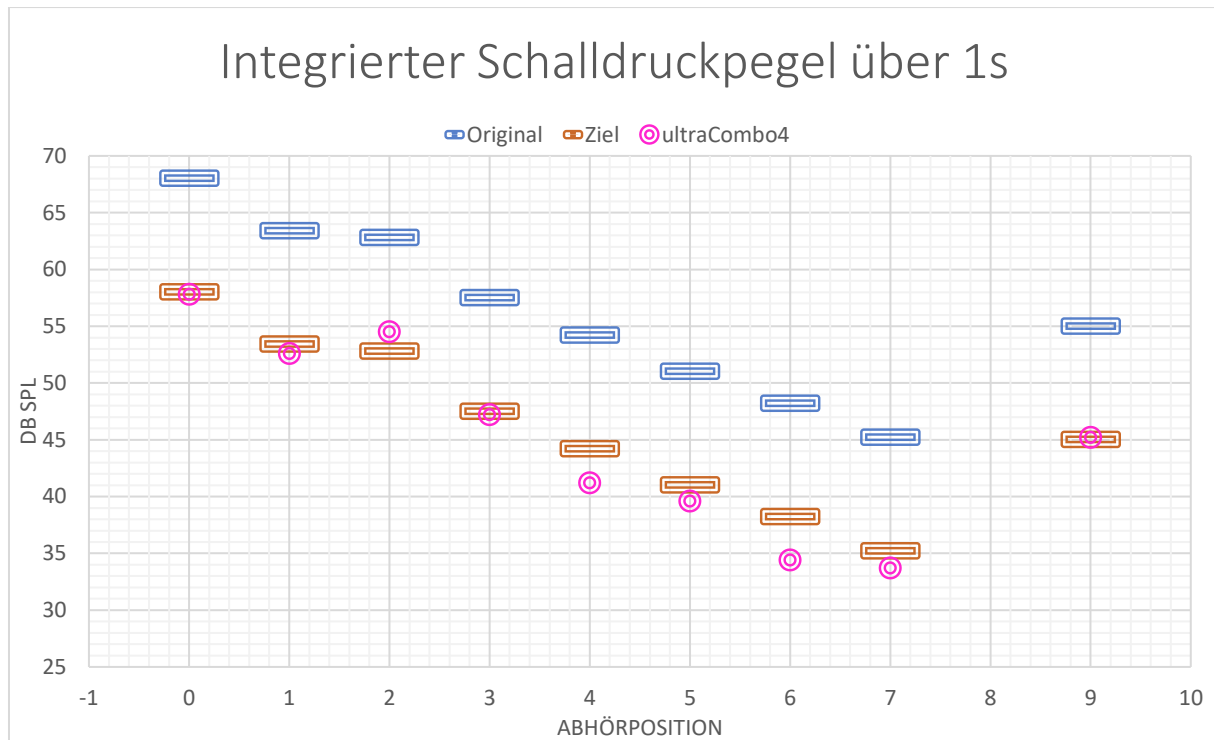


Abbildung 49: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die pinken Kreise kennzeichnen die Werte für die maximale Massnahme mit «Flüsterbelag», «absorbierenden Fassaden am Platz», «Massnahme am Platz» und «Strassen Massnahme».

Die mit dieser kombinierten Massnahme erzielte Wirkung ist beachtlich. Sie unterschreitet an den meisten Abhörpositionen die angestrebte Reduktion um 10 dB.

Die gewichtete mittlere Reduktion der «maximal Massnahme» erreicht einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m,Max} = 10.0 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz <ul style="list-style-type: none"> - Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen • Sichtkontakt Unterbruch von Empfänger auf die Quelle <ul style="list-style-type: none"> - Reduktion der störenden Geräuschlautstärke
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Fix • Teilweise mobil möglich; siehe 8.1.10 und 8.1.11
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr Hoch
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Witterungsfestigkeit?
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.2. Strasse

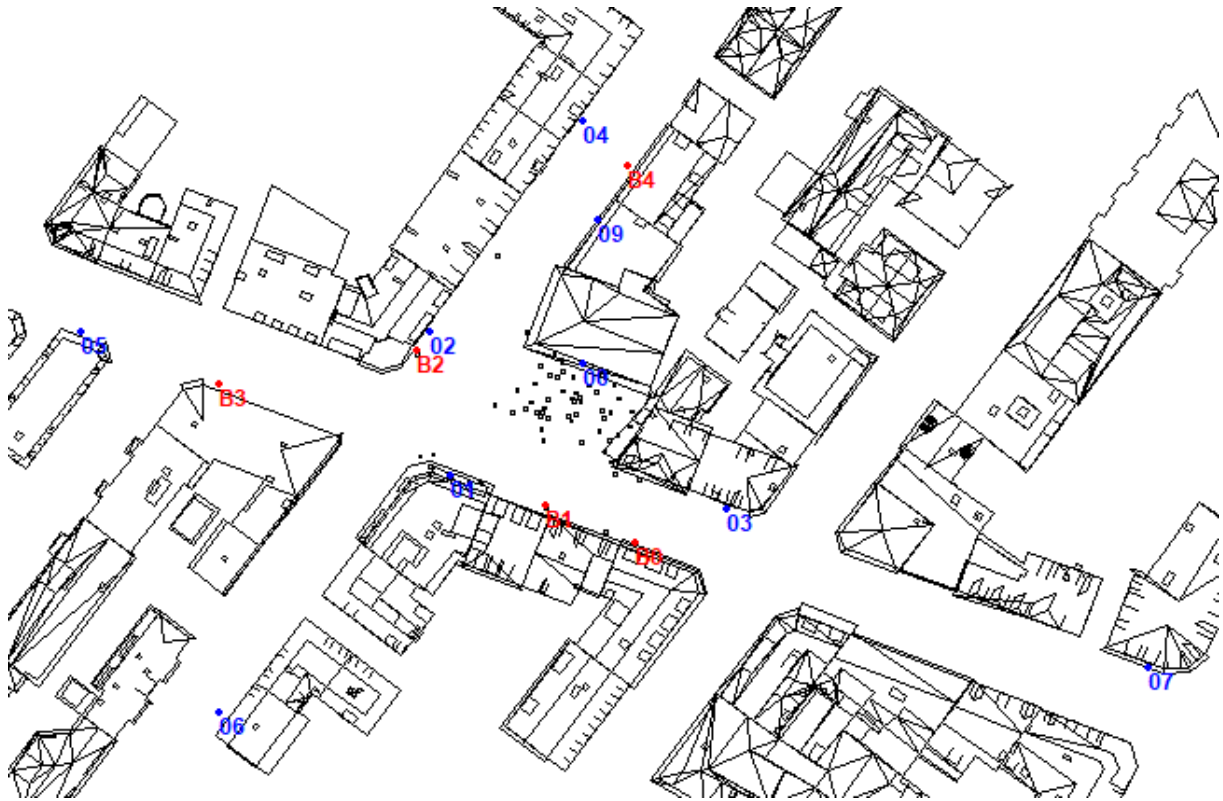


Abbildung 50: Quellenpositionen in den Strassen B0 bis B4 in rot, Abhörpositionen 00 bis 09 in blau.

Für die Simulationen mit Quellen entlang der Strassen wurden die gleichen Abhörpositionen verwendet. Sie sind in blau von 00 bis 09 nummeriert in Abbildung 50 eingezeichnet. Als Quellenpositionen sind die in Abbildung 50 rot eingezeichneten Positionen B0 bis B4 gewählt worden.

Für die akustischen Simulationen wurden die drei Erfolgversprechendsten Massnahmen: «Massnahme über den Strassen», «Massnahme entlang der Fassaden» und «absorbierender Boden», weiterverfolgt. Weiter wurde eine Variante mit Schallschutzschirmen über den Gehsteigen gerechnet

Die Grundsituation erreicht einen gewichteten Mittelwert von:

$$L_{m,Grund} = 59.1 \text{ dB.}$$

8.2.1. Massnahme über den Strassen

Die Simulation ist, bis auf die geänderten Quellenpositionen, identisch zu 8.1.11.

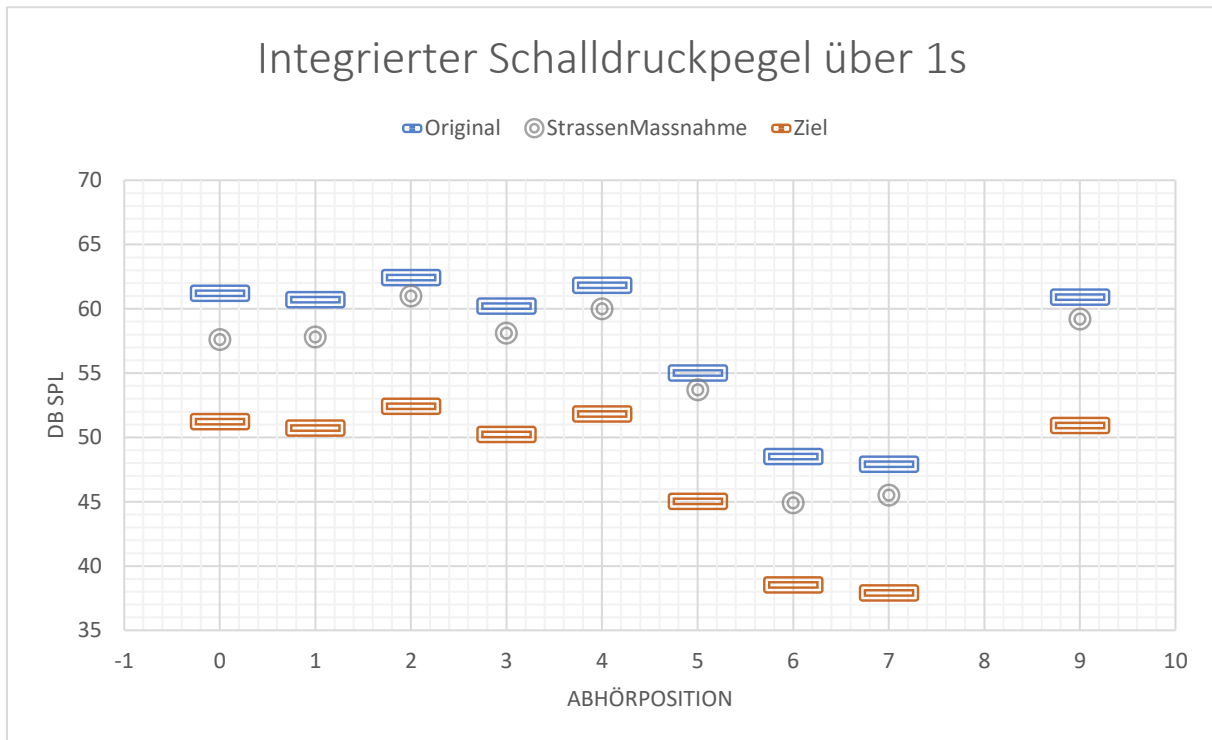


Abbildung 51: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die grauen Kreise kennzeichnen die Werte für die «Strassen Massnahme».

Die Massnahme erreicht eine erwartete Wirkung. In Abhängigkeit der Quellen-Massnahme-Empfänger Anordnung ergeben sich Reduktionen zwischen einem bis vier Dezibel.

Als gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich:

$$\underline{\Delta L_{m,Strasse} = 1.9 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Mässige Wirkung • Sichtkontakt Unterbruch von Empfänger auf die Quelle - Reduktion der störenden Geräuschlautstärke
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Modular • Mobil oder • Fix denkbar
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Recht unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Grund

8.2.2. Massnahme an den Fassaden

Die Simulation ist, bis auf die geänderten Quellenpositionen, identisch zu 8.1.13.

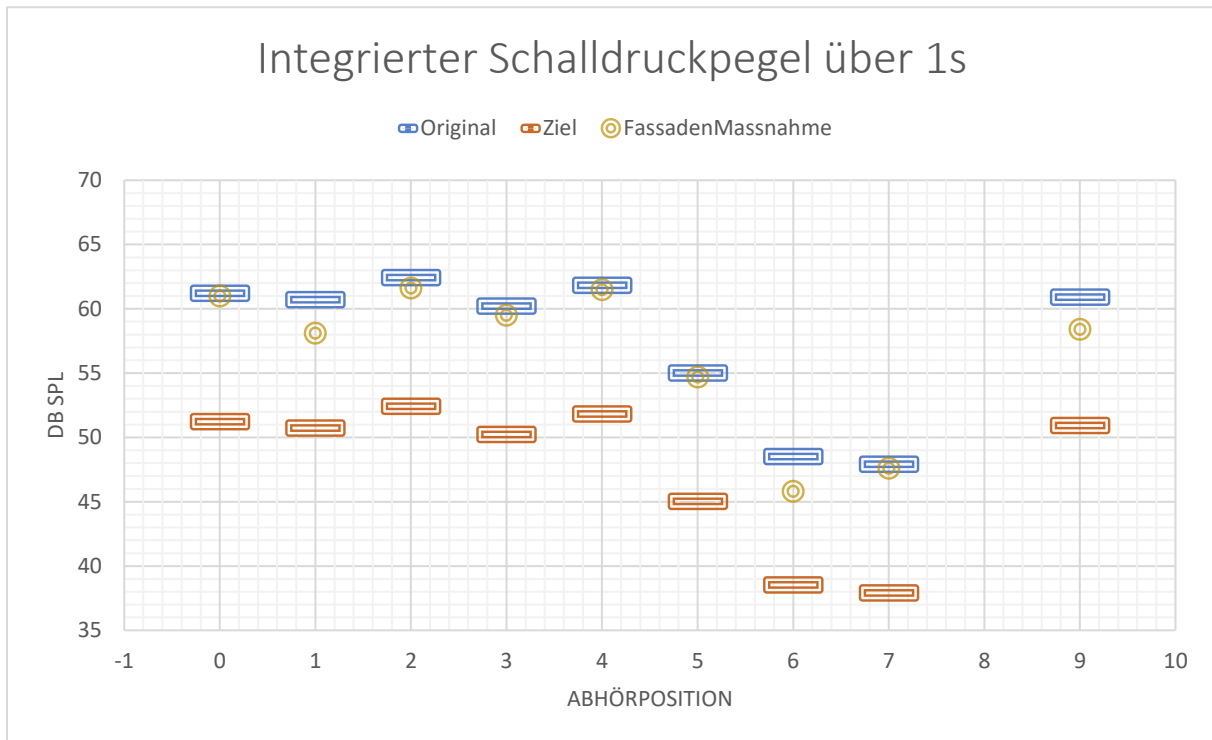


Abbildung 52: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die goldenen Kreise kennzeichnen die Werte für die «Fassaden Massnahme».

Die Massnahme erreicht noch immer gewisse Reduktionen an einzelnen Abhörpositionen. Die Massnahme scheint aber zu geringen Schallschatten zu bieten für eine gute Reduktion bei generischen Emitter-Positionen.

Im Mittel errechnet sich eine Reduktion des integrierten Schalldruckpegels von:

$$\underline{\Delta L_{m,Fassade} = 1.0 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Wirkung
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Modular • Mobil oder • Fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Witterungsfestigkeit?
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Privatgrund

8.2.3. Absorbierender Boden

Wiederum wurde in dieser Simulation, wie in 8.1.3, der gesamte Boden als starker Absorber angenommen.

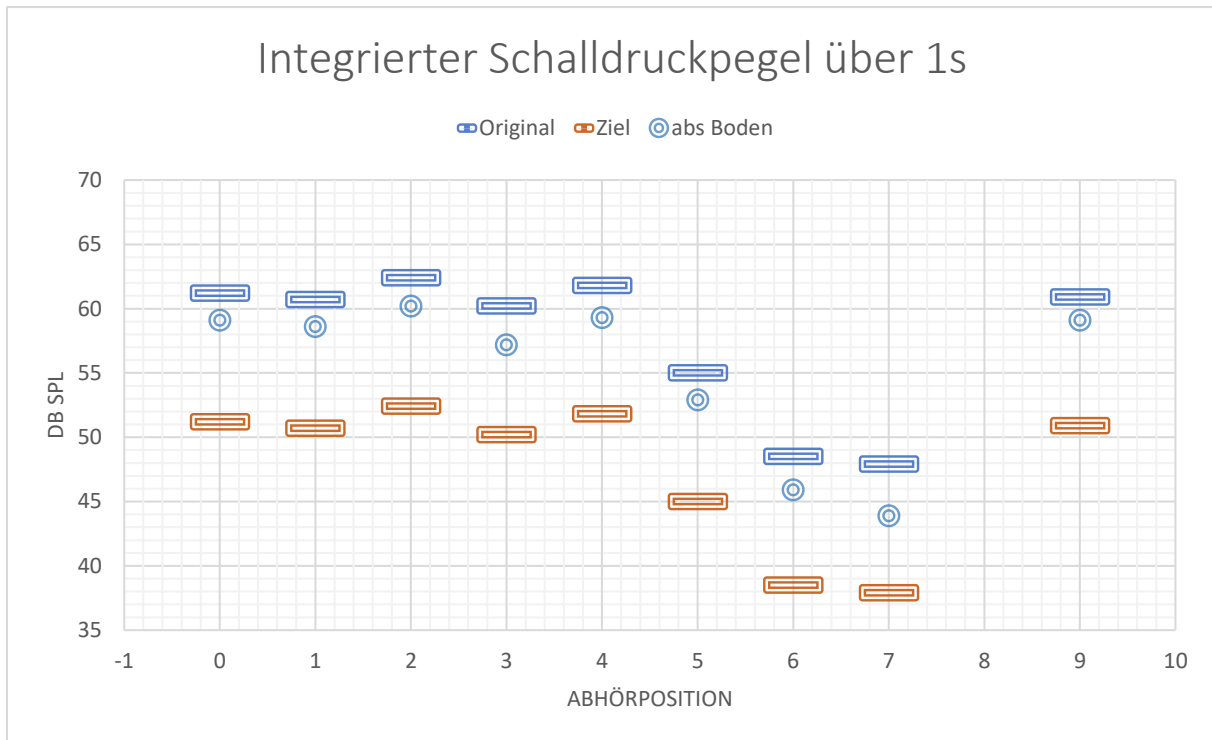


Abbildung 53: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die hellblauen Kreise kennzeichnen die Werte bei absorbierendem Boden.

Die Massnahme erreicht eine erstaunliche und globale Reduktion des Schalldruckpegels an allen Abhörpositionen.

Die gewichtete mittlere Reduktion erreicht:

$$\underline{\Delta L_{m,Boden} = 2.3 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	• Erstaunliche Wirkung
Installation	• Fix
Kosten	• Erheblich, da Flüsterbeläge kürzere Lebensdauer aufweisen als Herkömmliche.
Betrieb	• Unbedenklich
Standort	• Öffentlicher Grund

8.2.4. Gehsteig-Schallschuttschirme

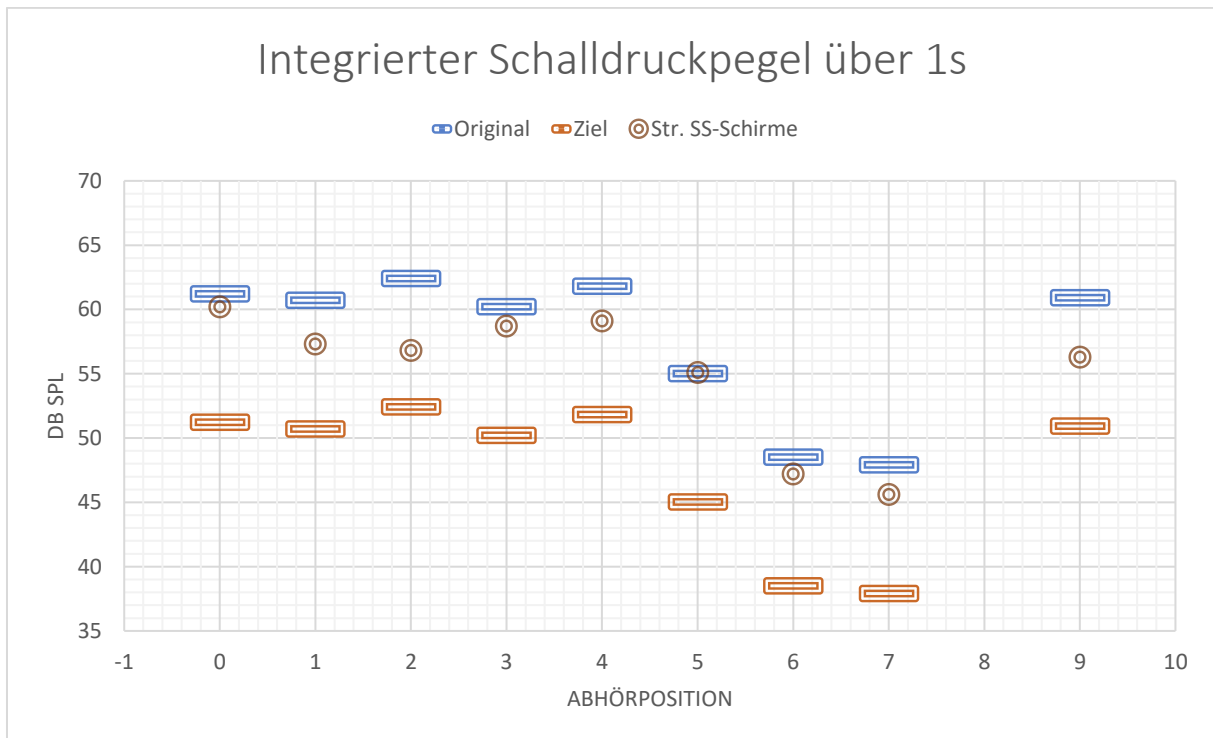
Eine weitere Möglichkeit wäre das Anbringen von, Erweitern bestehender, Schallschuttschirmen entlang der Gehsteige.



Abbildung 54: Sicht vom Gehsteig mit den eingebrachten Schallschuttschirmen.



Abbildung 55: Sicht von Oben mit den eingebrachten Schallschuttschirmen.



Die gewichtete mittlere Reduktion erreicht:

$$\underline{\Delta L_{m,Schirme} = 2.8 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none">• Gute Wirkung für Quellen unter dem Schirm, Abhörposition direkt darüber• Geringe Wirkung für den Quellen gegenüberliegende Abhörpositionen
Installation	<ul style="list-style-type: none">• Fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none">• unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none">• Unbedenklich
Standort	<ul style="list-style-type: none">• Privater Grund

8.3. Durchgang

Für die Evaluation der Wirkung der Durchgänge wurde eine vereinfachte Geometrie gewählt an der die Wirkung absorbierender Oberflächen exemplarisch veranschaulicht werden kann.

Die gewählten Dimensionen entsprechen in etwa einem Durchgang wie auf Abbildung 56 an der Dienerstrasse 33.



Abbildung 56: Beispiel eines Durchganges dessen Lärmemissionen untersucht wurden.

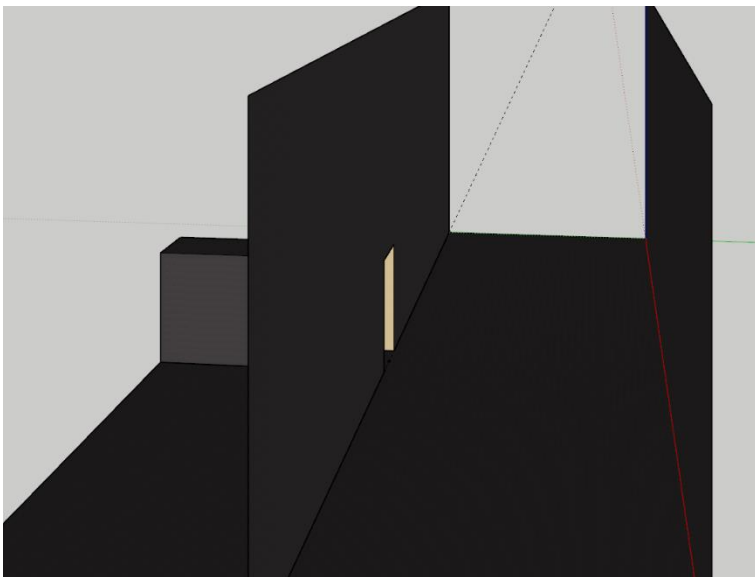


Abbildung 57: Verwendete Geometrie für die akustische Simulation eines exemplarischen Durchganges.

Im Innern des Durchganges wurde eine einzelne Quelle, wiederum nach ANSI S3.5-1997 als «laute Sprecher», mit omnidirektionaler Abstrahlung auf 1.7m Höhe, positioniert. Als Abhörposition wurde eine Position an der gegenüberliegenden Fassade auf 5m Höhe gewählt, die nicht direkt vom Primärschall getroffen wird.

Die Fassaden wurden in dieser Simulation, wie der Boden als quasi komplett Schallhart und nicht diffus streuend angenähert.

8.3.1. Harter Durchgang

In einer ersten Simulation wurde die Situation gerechnet in der alle Oberflächen, auch jene im Durchgang, quasi komplett schallhart sind.

Abbildung 58 zeigt die Ausbreitung der Schallenergie als Strahlen aus dem schallharten Durchgang, von Oben und von der Seite betrachtet. Die Farbskala entspricht dabei dem Schalldruckpegel in dB. Rot kennzeichnet einen Pegel von 60 dB, dunkelblau Einem von 10 dB, was darunter liegt wird schwarz dargestellt.

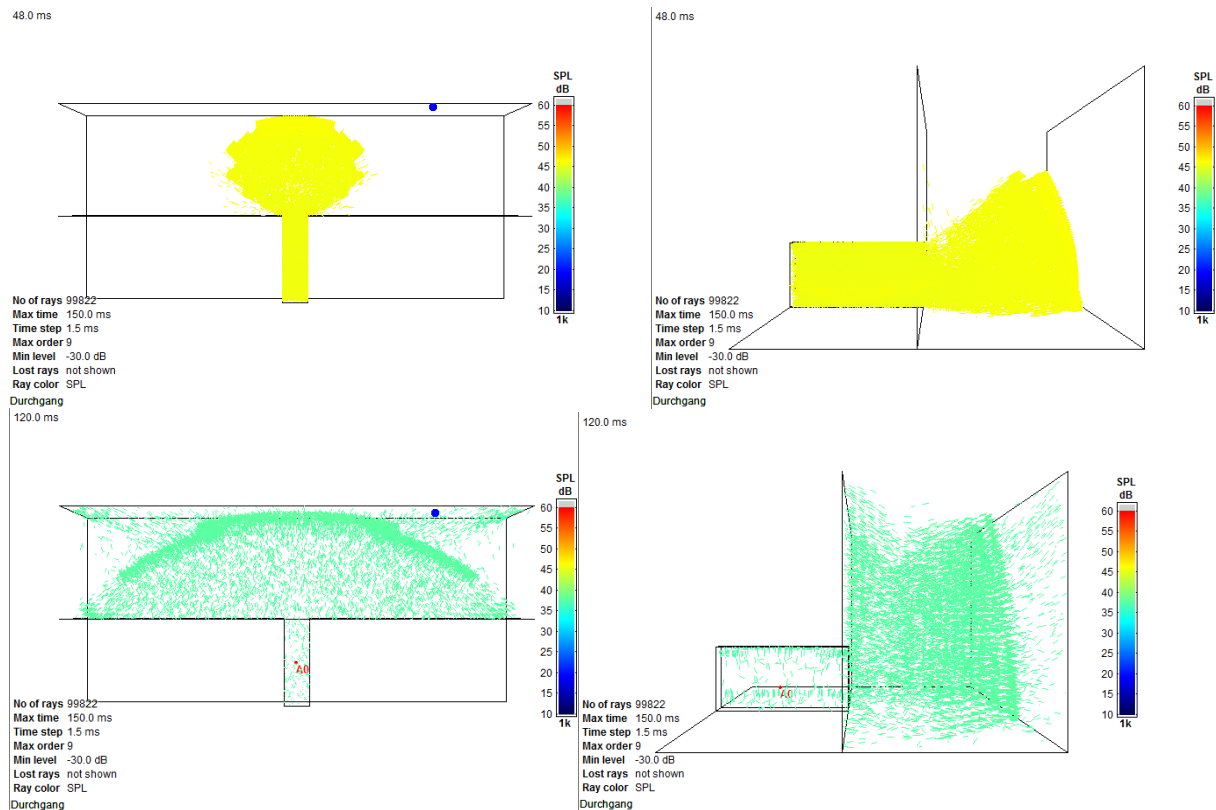


Abbildung 58: Ausbreitung der Schallenergie aus dem schallharten Durchgang: links von oben, rechts von der Seite betrachtet, oben zu einem Zeitpunkt von 48ms nach Abstrahlung, bevor der Primärschall die gegenüberliegende Fassade erreicht, unten zu einem Zeitpunkt von 120ms nach Abstrahlung, bevor die hin und her geworfene Schallfront die Fassade erneut erreicht.

Wie auf Abbildung 58 zu sehen, und mit ausschliesslich schallharten Oberflächen zu erwarten, tragen alle Strahlen zu jedem Zeitpunkt den gleichen Pegel. Der Pegel verringert sich bei der Reflexion kaum, mit der Zeit geht er selbstverständlich zurück, da sich die Schallenergie auf eine sich ausbreitende Oberfläche verteilt.

An der Abhörposition ergibt sich ein integrierter Schalldruckpegel von:

$$L_{Gang,hart} = 51.2 \text{ dB.}$$

8.3.2. Absorbierende Oberflächen

Als akustische Massnahme wurden die Decke und die Wände des Durchgangs mit generischem Absorber ersetzt. Der Boden wurde als harter Asphalt belassen.

Abbildung 59 zeigt für diese Simulation die identischen Ansichten zu jenen der Abbildung 58.

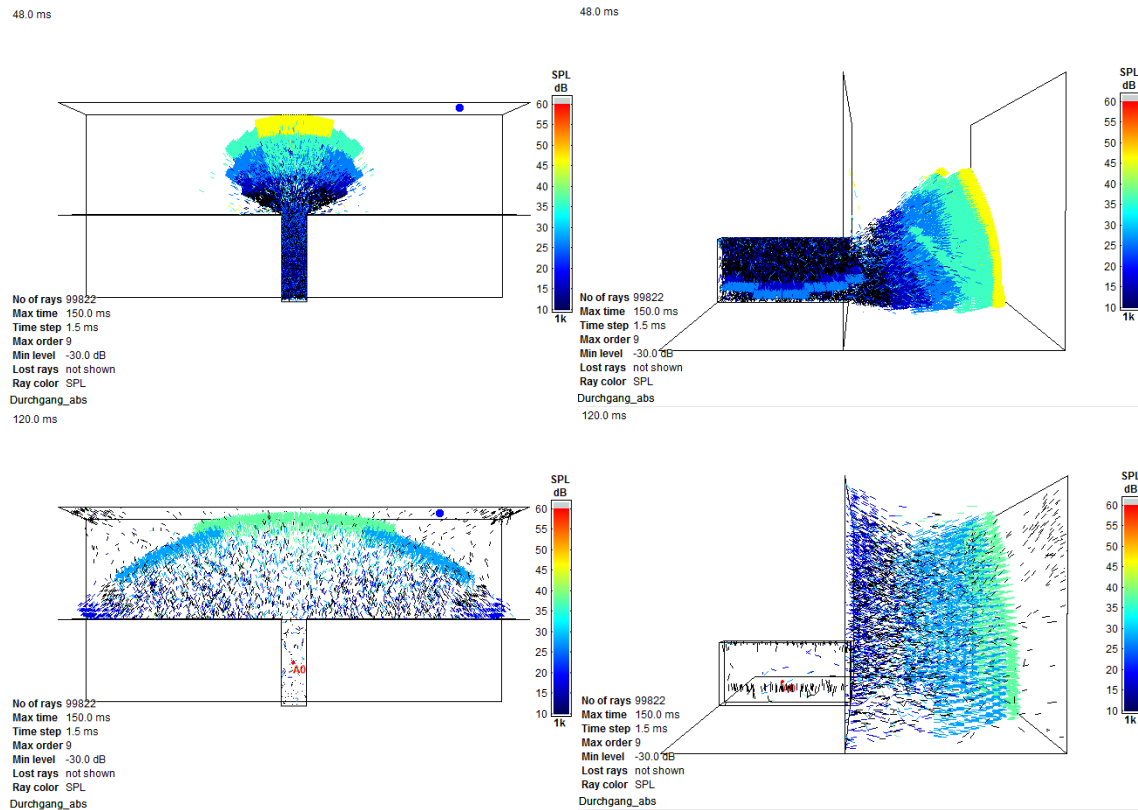


Abbildung 59: Ausbreitung der Schallenergie aus dem Durchgang mit absorbierenden Wänden und Decke: links von oben, rechts von der Seite betrachtet, oben zu einem Zeitpunkt von 48ms nach Abstrahlung, bevor der Primärschall die gegenüberliegende Fassade erreicht, unten zu einem Zeitpunkt von 120ms nach Abstrahlung, bevor die hin und her geworfene Schallfront die Fassade erneut erreicht.

Klar ersichtlicher Weise, tragen verschiedene Strahlen, nun stark unterschiedliche Schalldruckpegel, da sie an den Absorbern reflektiert wurden.

An der Abhörposition ergibt sich ein integrierter Pegel von

$$L_{Gang,abs} = 42.2 \text{ dB.}$$

Damit ergibt sich eine Reduktion von erstaunlichen:

$$\underline{\underline{\Delta L_{Durchgang} = 9 \text{ dB.}}}$$

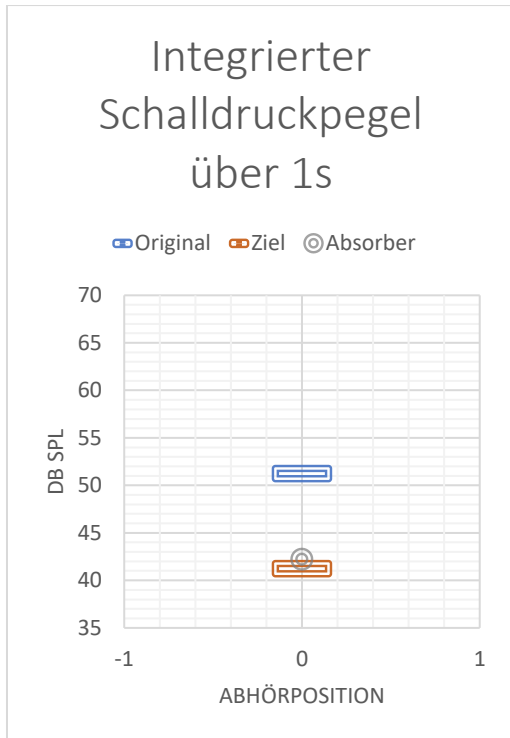


Abbildung 60: dB SPL Wert an der Abhörposition, blauer und roter Strich kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, der graue Kreis kennzeichnen den Wert bei absorbierenden Wänden und Decke.

Einschätzung

Akustik	• Grosse Wirkung
Installation	• Fix
Kosten	• Gering
Betrieb	• Vermutlich unbedenklich
Standort	• unbekannt

9. Validierung durch Schreckschussmessung

Um das akustische 3D Modell zu validieren wurden auf der Piazza Cella Schreckschussmessungen durchgeführt. Abbildung 61 zeigt die Schiessposition in Rot (A2) und vier Messpositionen (01,02,03 und 08) in blau.

Die gleiche Situation wurde auch im Simulator gerechnet und im Folgenden werden die Simulationsresultate mit den Messungen verglichen.

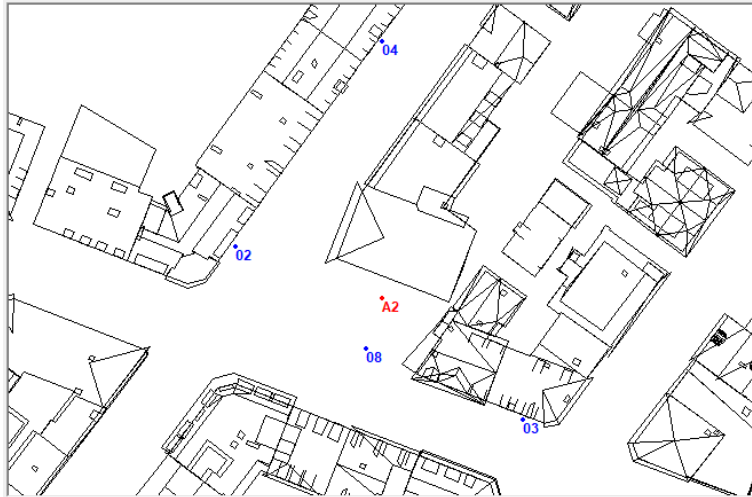


Abbildung 61: Schiessposition in rot: A2 auf der Piazza Cella, Messpositionen in blau: 02, 03, 04 und 08.

Die Messungen dienen in erster Linie dazu das Modell qualitativ zu validieren, indem überprüft werden kann, ob der Zeitverlauf des gemessenen Schalldruckpegels, die Impulsantwort, in Modell und Realität übereinstimmt. Insbesondere sind die relativen Intensitäten der unterschiedlichen Reflexionen und des diffusen Nachhalls von Interesse.

Im Detail wird die Interpretation schnell komplex, da die Zuteilung der verschiedenen Reflexionen zu bestimmten Schall-Pfaden oft nicht nachvollziehbar ist.

Abbildung 62 bis Abbildung 65 zeigen die Impulsantworten, oben aus der Simulation, unten vor Ort gemessen an den Position 08, 02,03 und 04. Aufgezeichnet sind die Lautstärken der Signale in dB als Funktionen der Zeit. Die Bedeutung der roten Linien und grünen Ellipsen wird im Folgenden erklärt.

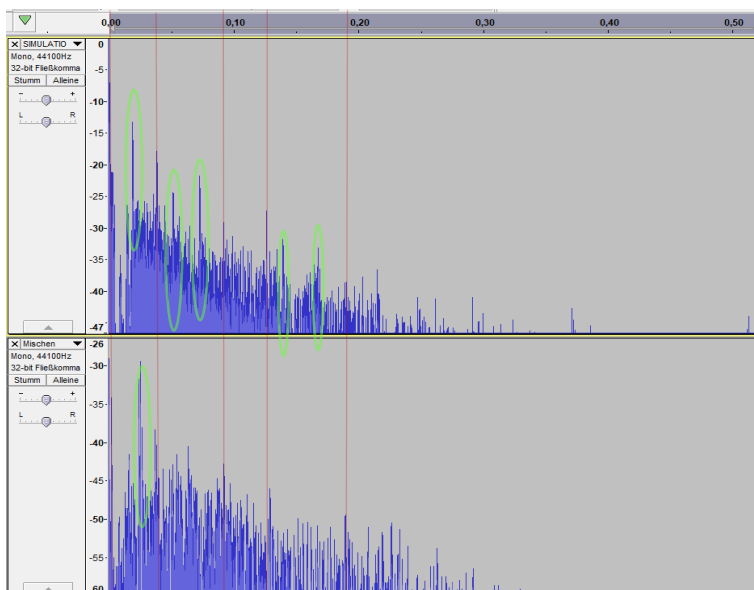


Abbildung 62: Impulsantwort: in der Simulation, oben und gemessen, unten, an Position 08, direkt auf der Piazza Cella.

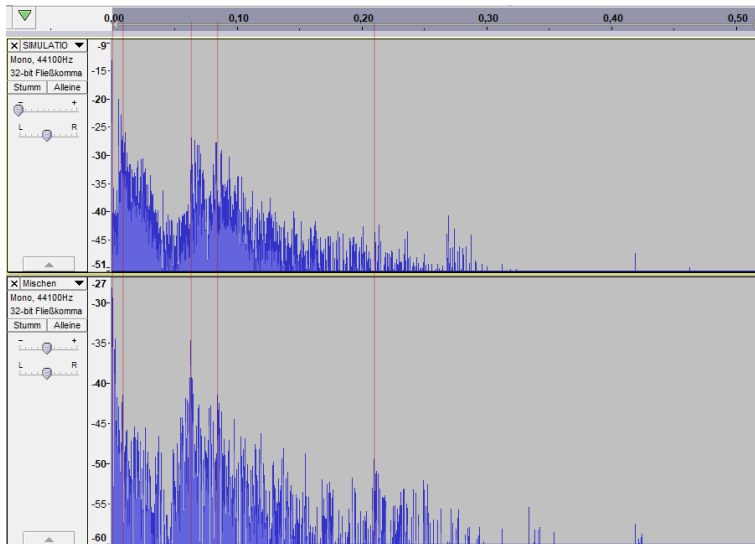


Abbildung 63: Impulsantwort: in der Simulation, oben und gemessen, unten, an Position 02, an der Dienerstrasse 40.

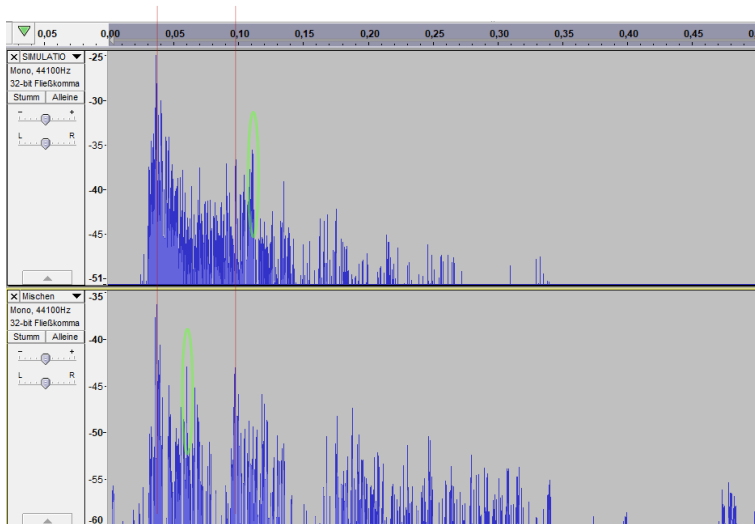


Abbildung 64: Impulsantwort: in der Simulation, oben und gemessen, unten, an Position 03, an der Langstrasse 88.

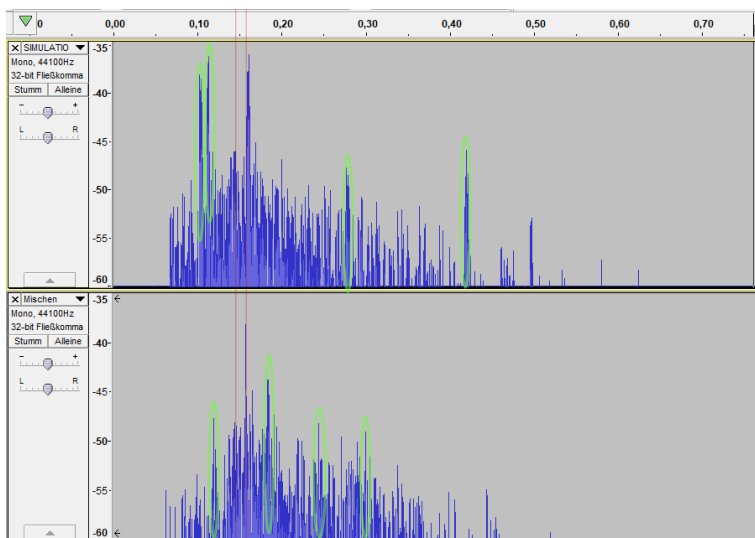


Abbildung 65: Impulsantwort: in der Simulation, oben und gemessen, unten, an Position 04, an der Dienerstrasse 30.

Festzuhalten ist, dass die Impulsantworten aus Simulation und Messung dem qualitativen Vergleich klar standhalten.

Auch einige der diskreten Reflexionen können identifiziert werden. Diese sind in den Abbildungen mit roten Strichen gekennzeichnet.

Jedoch sind sowohl in den Simulationen, als auch in den Messdaten teilweise klare Peaks erkennbar die im Gegenpart nicht gefunden werden können. Diese sind in den Abbildungen mit grünen Ellipsen markiert.

Besonders an Messposition 04 ist zu sehen, dass die Intensitätsverteilung der schärferen Reflexionen aus der Simulation nicht mit den Gemessenen übereinstimmen. Vermutlich ist hier, auf Grund der Geometrie von Fassaden und Hauskannten, eine recht starke Sensitivität bezüglich der exakten Quellen- und Messposition vorhanden.

Es wird weiter vermutet, dass durch die, in der Simulation, unberücksichtigten zusätzlichen Streuer in Bodennähe, wie geparkte Autos, etc., eine geringere Übereinstimmung zwischen Simulation und Messungen gefunden werden kann, als dies für Messpositionen in der Höhe der Fall wäre, wie es die Abhörpositionen der in Abschnitt 8 diskutierten Simulationen darstellen.

10. Zusätzliche Simulationen Piazza Cella

An der Sitzung vom 07.03.2018 wurden zwei weitere Simulationen in Auftrag gegeben. Zum einen eine Kombination aus absorbierenden Fassaden am Platz, siehe 8.1.9 und den kleinen Lärmschutzwänden aus der «Minimal Massnahme», siehe 8.1.14. Zum anderen ein mit dem Boden verbundenes Element im Sinne von «Schirme mit Lamellen», die schallabsorbierend aber Regendurchlässig gehalten sein sollen, so dass der Platz nicht bei schlechtem Wetter noch mehr Leute anzieht als bis jetzt.

10.1. Minimal Combo Variante

Der Auftrag zu einer «Minimal Combo Variante» wurde so verstanden, dass durch Kombination kleiner Elemente möglichst grosse Wirkung erreicht werden sollte. Deswegen wurden hier weitere Elemente zur Minimal Massnahme hinzugefügt, siehe Abbildung 66, grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Wirkung steigt mit zunehmender Anzahl (sowie mit zunehmender Höhe oder Breite).

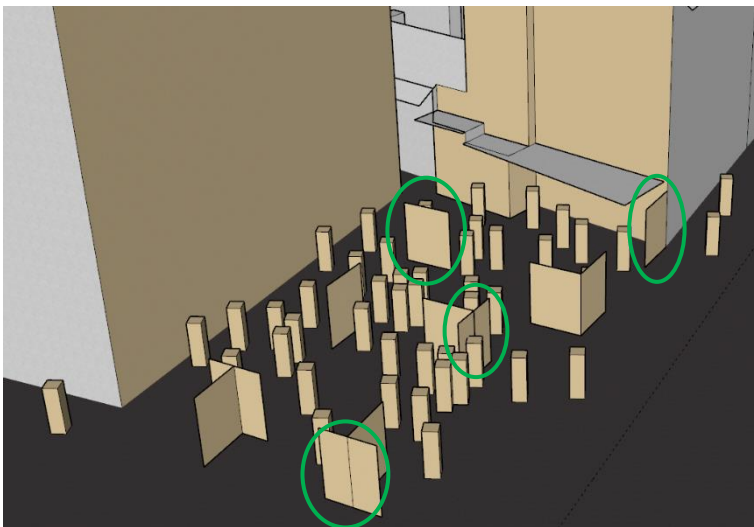


Abbildung 66: Kombination aus absorbierenden Fassaden, und kleinen Schallschutzwänden. In Grün wurden zusätzliche Schallschutzwände, verglichen mit der «minimal Massnahme», siehe 8.1.14, markiert.

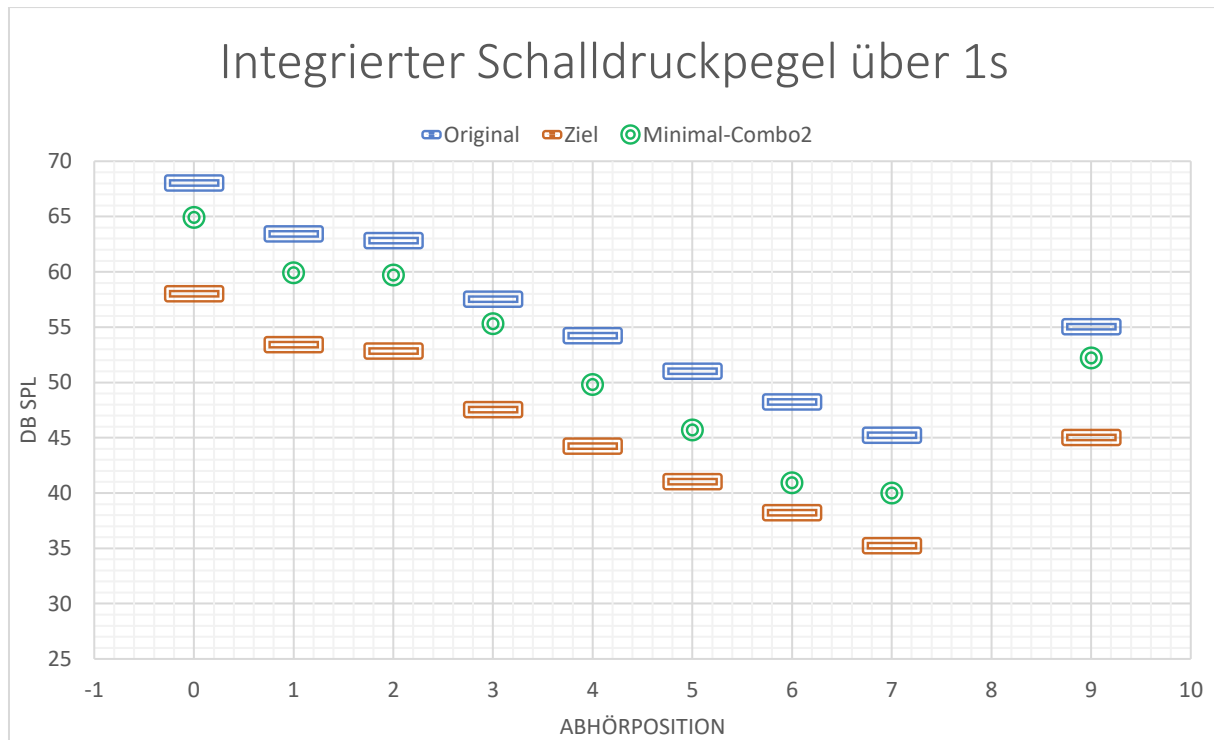


Abbildung 67: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die grünen Kreise kennzeichnen die Werte für die kombinierte Variante aus absorbierenden Fassaden am Platz und den kleinen Schallschutzwänden.

In der Wirkung der Massnahme zeigt sich eine globale Reduktion an allen Abhörpositionen. Besonders an den lauten Positionen wirken hier primär die absorbierenden Fassaden, an den entfernteren Positionen kombinieren sich die Wirkungen dieser und der kleinen Schallschutzwände.

Grob ist die erreichte Reduktion eine Addition der beiden Wirkungen aus 8.1.9 und 8.1.14, wobei sie durch die zusätzlich eingefügten Schallschutzwände noch verstärkt wurde.

Für die gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m,MinCombo} = 3.2 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Wirkung • Reduktion der wahrgenommenen Lautstärke am Platz • Lombard-Effekt könnte positives Feedback auf die Sprechlautstärke erzeugen
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Schallschutzwände: fix oder mobil • Fassaden: fix
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Schallschutzwände: gering • Fassaden: unbekannt
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Schallschutzwände: bis auf geringe Vandalismusgefahr, unbedenklich • Fassaden: unklar
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Schallschutzwände: öffentlicher Grund • Fassaden: privater Grund

10.2. «Schirme mit Lamellen» - Tulpenform

In einer ersten Variante wurden Schirme in Tulpenform konstruiert, wie sie an der Sitzung vom 07.03.2018 diskutiert wurden, siehe Abbildung 68. Die Lamellen erlauben Regendurchlässigkeit bei gleichzeitiger Schallabsorbierender Wirkung.

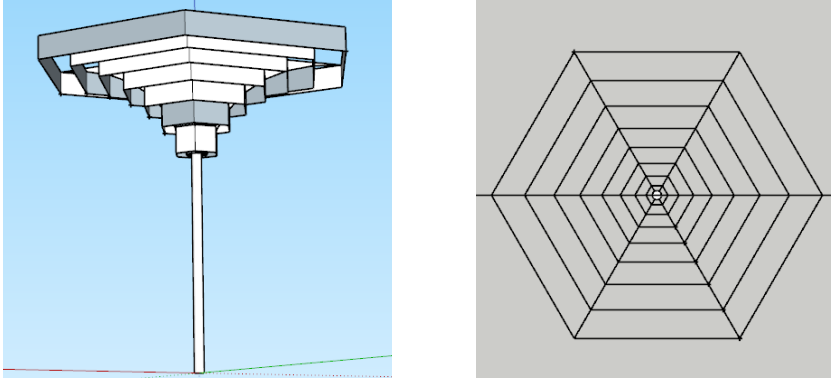


Abbildung 68: Schirmentwurf 1. Ansicht von der Seite und von oben. die Lamellen erlauben Schallschutz ohne Regenschutz.

Fünf solcher Schirme wurden auf der Piazza Cella positioniert für eine erste Simulation, siehe Abbildung 69.

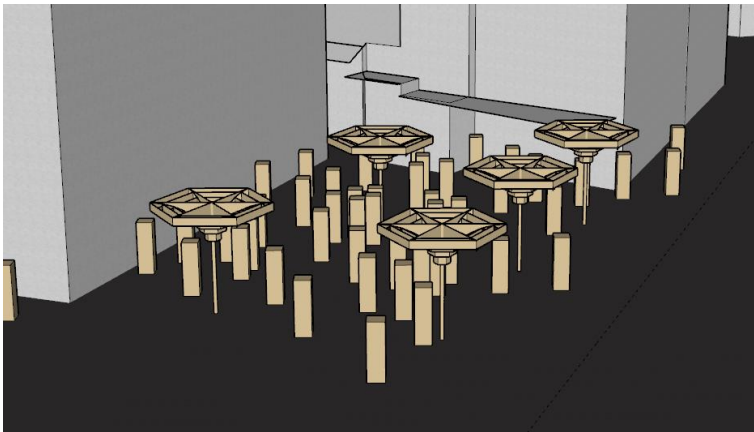


Abbildung 69: Fünf Lamellen-Schirme in Tulpenform auf der Piazza.

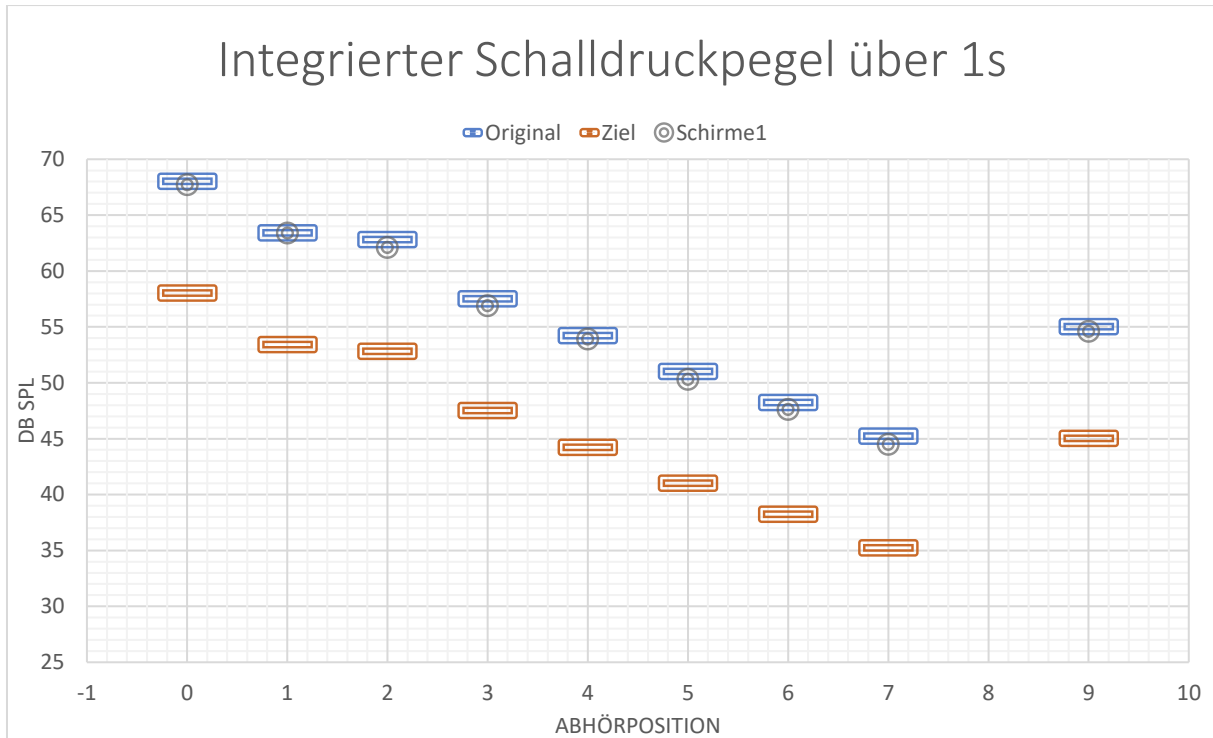


Abbildung 70: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die grauen Kreise kennzeichnen die Werte mit den fünf Lammellen-Schirmen in Tulpenform auf der Piazza Cella.

In der Simulation zeigt sich leider so gut wie keine Wirkung dieser Schirme auf die integrierten Schalldruckpegel an den definierten Abhörpositionen.

Für die gewichtete mittlere Reduktion ergibt sich einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m, Schirme-T} = 0.4 \text{ dB.}}$$

Einschätzung

Akustik	• kaum Wirkung
Installation	• mobil
Kosten	• gering
Betrieb	• unbedenklich
Standort	• öffentlicher Grund

10.3. «Schirme mit Lamellen» - Mastenform

Als Grund für die enttäuschende Wirkung der Schirme in Tulpenform wurde die geringe Breite der Schirme vermutet. Darum wurde ein zweites Design versucht, siehe Abbildung 71, das hier als «Mastenform» bezeichnet wird. Es ist entlang eines Kreisbogens konstruiert, so dass aus einem 5m entfernten Punkt auf 1.7m Höhe, ein Rechteckiger Schatten von ca. 12 m Höhe und 15 m Breite an eine 13 m entfernte Wand geworfen wird, beginnend auf einer Höhe von ca. 4m.

Um die Schirme hervor zu heben sind sie in den folgenden Abbildungen grün gefärbt.

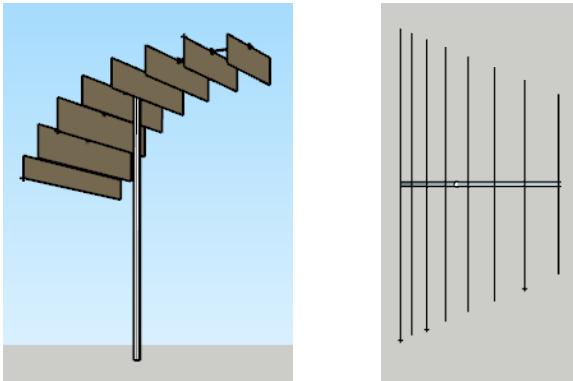


Abbildung 71: Schirmentwurf 2. Ansicht von der Seite und von oben. Die Form erzeugt einen rechteckigen Schatten an einer dem Kreisbogenmittelpunkt gegenüberliegenden Hausfassade.

Aus diesen Schirmen kann, in Anlehnung an die wirkungsvolle Massnahme 8.1.10, eine Art Palisade um den Platz gezogen werden, siehe Abbildung 72. Abbildung 73 zeigt den Blick aus der Höhe auf den Platz. Wie zu sehen ist, sind aus dieser Perspektive die Sprecher auf dem Platz zu einem sehr grossen Teil hinter den Schirmen versteckt.

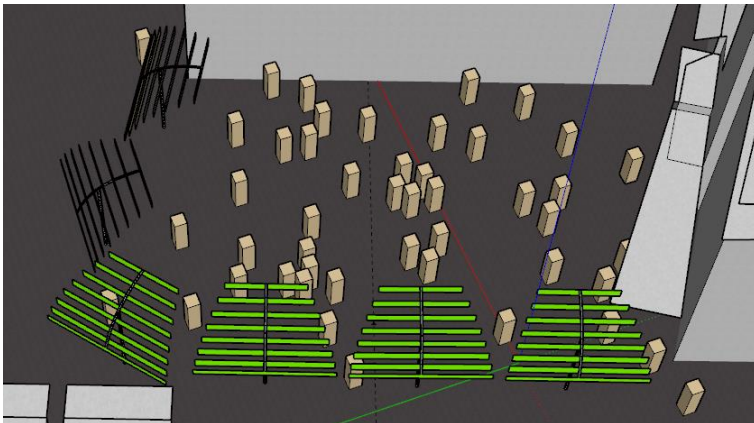


Abbildung 72: Sechs Lamellen-Schirme in Mastform um die Piazza.

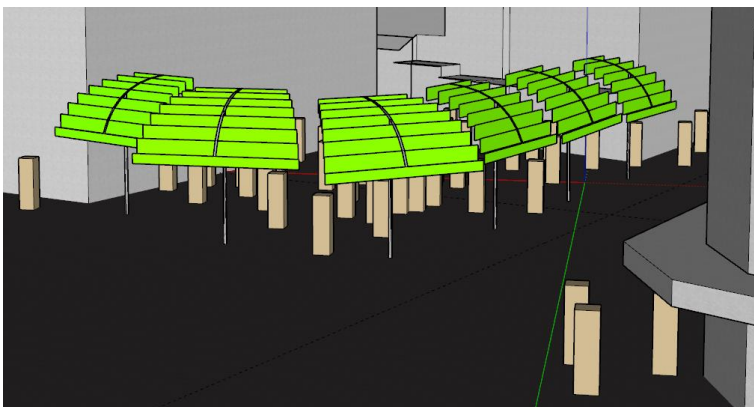


Abbildung 73: Fünf Lamellen-Schirme in Tulpenform auf der Piazza.

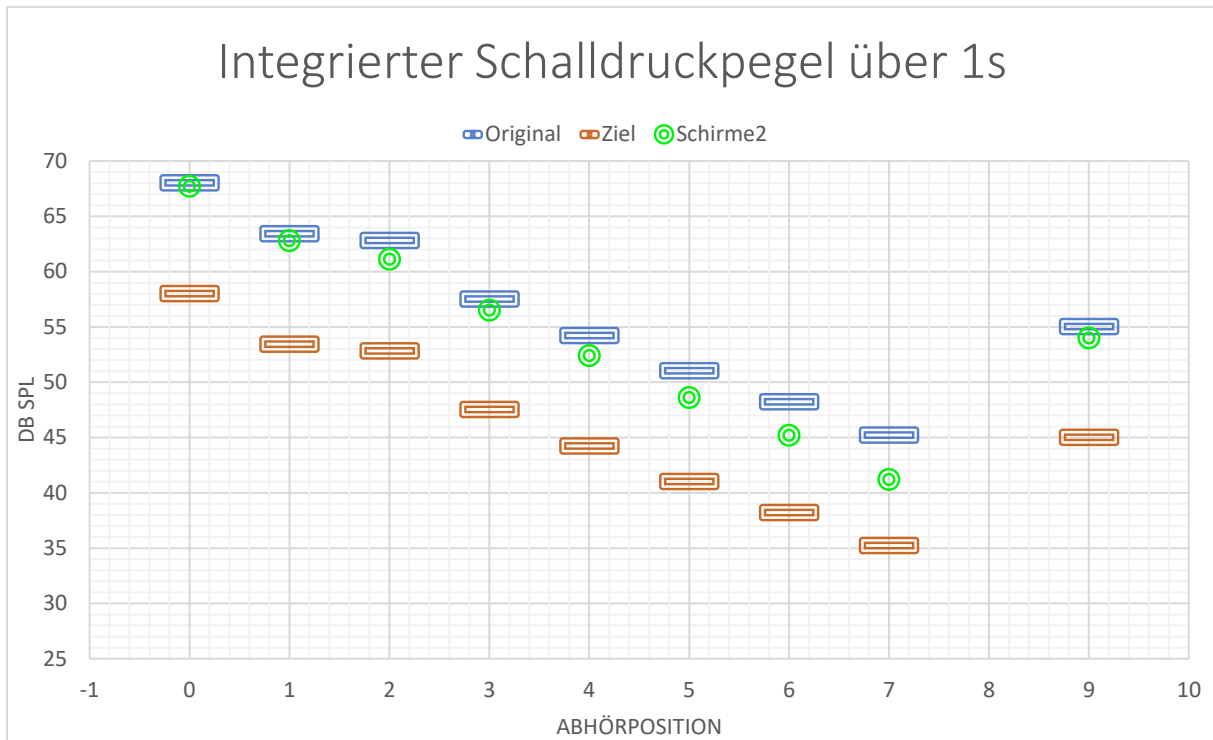


Abbildung 74: dB SPL Werte an den Abhörpositionen, blaue und rote Striche kennzeichnen Originalsituation und Zielwert, die hellgrünen Kreise kennzeichnen die Werte mit den sechs Lamellen-Schirmen in Mastform um die Piazza Cella.

Für die gewichtete mittlere Reduktion der Situation mit sechs Lamellenschirmen in Mastform um die Piazza Cella ergibt sich einen Wert von:

$$\underline{\Delta L_{m,Schirme-M} = 1.0 \text{ dB.}}$$

Die akustische Wirkung fällt etwas geringer als erwartet aus. In der Auswertung der Simulation zeigt sich, dass die meisten verwendeten Quellen nicht genügend unter den Schirmen versteckt werden. Die Schirme müssten höher hinauf ragen, oder es müssten weitere Schirme auf dem Platz aufgestellt werden. Hier wird das spezifische Design und die Platzierung auf dem Platz sehr entscheidend.

Wie sich im Schritt vom ersten zum zweiten hier verwendeten Design zeigt lässt sich hier durchaus etwas erreichen. Weitere Design Ideen, z.B. Formen die näher an einem «normalen» Sonnenschirm liegen und in der Wirkung näher an jene von 8.1.2, dem «Dach» gehen würden, wären interessant zu testen, was den Zeitlichen Rahmen dieser Expertise jedoch übersteigen würde.

Einschätzung

Akustik	• Mässige Wirkung
Installation	• Mobil
Kosten	• Gering
Betrieb	• Unbedenklich
Standort	• öffentlicher Grund

Wie sich im vorangehenden Abschnitt 10.1, gezeigt hat lassen sich die Wirkungen unterschiedlicher Massnahmen, die auf unterschiedliche Ausbreitungswege wirken, addieren um eine grobe Abschätzung der kombinierten Wirkung zu erhalten. Die hier diskutierten Schirme, oder ein ähnliches noch zu erstellendes Design, liessen sich also zu der Wirkung der «minimal Combo Variante» dazu addieren im Falle einer Kombination.

Zu Schall- oder Lärmschutzschirmen ist weiter zu erwähnen, dass in Deutschland, besonders in Hamburg seit 2012, schallabsorbierende Sonnenschirme im Aussengastrobetrieb angewendet werden. Es scheint mehrere Sonnenschirmhersteller (z.B. Bicatec oder May) stellen auch schallabsorbierende Modelle her. Man könnte sich also die Lamellen der hier diskutierten Schirme aus entsprechendem, bereits existierendem, Stoff vorstellen.

11. Fazit / Zusammenfassung

An der Sitzung vom 07.12.2017 und unter 2.5.1, wurde als anzustrebende Reduktion des Gesprächslärms, ausgehend von der Piazza Cella, den angrenzenden Strassenzügen und aus Durchgängen, eine Senkung des Schalldruckpegels für die Anwohner um 10 dB definiert. Es wurde dabei bereits festgehalten, dass nicht zu erwarten ist, dies durch eine einzelne Massnahme erreichen zu können.

11.1. Piazza Cella

Die hier beschriebenen Simulationen und Überlegungen zeigen, dass für die Emissionen von der Piazza Cella eine Reduktion um 10 dB prinzipiell erreicht werden kann, dass dafür aber erhebliche Aufwände nötig sind, siehe maximal Variante: 8.1.15.

Es zeigt sich aber auch, dass sich durch die geschickte Kombination kleinerer Eingriffe eine klare Reduktion des integrierten Schalldruckpegels erreichen lässt, siehe 10.1. Dabei sind die Schallabsorbierenden Fassaden an der Piazza Cella, das wirkungsvollste Element der Kombination.

Die grösste Wirkung einer isolierten Massnahme stellt die unter 8.1.10 beschriebene Massnahme am Platz dar, die den für die Anwohner relevantesten Raumwinkel abdeckt. Eine vergleichbare Wirkung mit «Schirmen mit Lamellen» konnte nicht ganz erreicht werden, hier besteht aber noch Raum für weitere Design-Versuche.

11.2. Dienerstrasse / Langstrasse

Für die Emissionen entlang der Strassen zeigt sich wiederum, dass eine Kombination aus grösseren Eingriffen nötig wären um eine erhebliche Reduktion der SPL Werte zu erreichen.

Hier zeigte, nach dem Grossflächigen Anbringen von Schallschutzschirmen über den Gehsteigen, ein absorbierender Bodenbelag die besten Resultate.

Zur weiteren Überprüfung scheint daher aus akustischer Sicht das Ersetzen des Strassenbelags durch einen Flüsterbelag interessant, da durch die Reduktion des wahrgenommenen Strassenlärms auch die Gesprächslautstärke positiv beeinflusst werden könnte: «Lombard-Effekt».

11.3. Durchgänge

Eindeutig kann festgehalten werden, dass durch Massnahmen in Durchgängen, namentlich das Anbringen absorbierender Elemente an Wänden und Decke, die vom Durchgang ausgehenden Emissionen drastisch reduziert werden können.

12. Ausblick

Nach Abschluss dieser Expertise zeigt sich, dass eine umfänglichere Behandlung der Lärmsituation in der Stadt, insbesondere das Miteinbeziehen des Strassenlärmes, sehr interessant wäre.

Einerseits stellt der massiert auftretende Gesprächslärm nur einen Teil der Lärmproblematik der Anwohner dar, andererseits beeinflusst der Umgebungslärm wiederum die Sprechlautstärke der, sich im Freien aufhaltenden Menschengruppen.