

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch



Materials Science & Technology

Baudirektion Kanton Zürich
Fachstelle Lärmschutz
Thomas Gastberger
Walcheturm, Postfach
8090 Zürich

Wellentheoretische Untersuchungen zur akustischen Wirkung von zick-zack-förmigen Hausgrundrissen

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214005799
Ihr Auftrag vom: 14.4.2014
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 7

Inhaltsverzeichnis

- 1 Ausgangslage und Auftrag
- 2 Situation und Vorgehen
- 3 Simulationsergebnisse
- 4 Unsicherheiten

Dübendorf, 13. Mai 2014
Der Projektleiter:

K. Heutschi

Abteilung Akustik / Lärminderung
Der Abteilungsleiter:

K. Eggenschwiler

Zusammenfassung

xx.

1 Ausgangslage und Auftrag

Aus Gründen des Lärmschutzes gegenüber den Immissionen von Strassen werden immer wieder Konzepte mit zick-zack-förmigen Grundrissformen vorgeschlagen. Diese Strukturen reduzieren den sichtbaren Aspektwinkel und führen in den gängigen Engineeringberechnungsmodellen zu einer Immissionspegelreduktion gegenüber glatten Fassaden. Mit Brief vom 14. 4. 2014 beauftragte die FALS des Kt. Zürich die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung mit der exemplarischen Abklärung dieser Wirkung mittels wellentheoretischen Simulationen (FDTD).

2 Situation und Vorgehen

Zur Untersuchung der akustischen Wirkung von zick-zack-Grundrissen wurden exemplarische Schallausbreitungssimulationen mit einem wellentheoretischen FDTD Modell durchgeführt. Nach Absprache mit Thomas Gastberger wurden dazu die in Abbildung 1 bis Abbildung 5 gezeigten Grundrisse bzw. Empfängerpositionen untersucht. Rund um den Empfangspunkt wurde jeweils eine 3 m tiefe und 3 m breite hochabsorbierende Nische angenommen. Der Abstand des Empfangspunktes zur Strasse wurde generell zu 12 m angesetzt. Die Strasse als Linienquelle wurde durch eine Reihe von 19 Punktquellen modelliert. Von jeder Punktquelle aus wurde je eine zweidimensionale wellentheoretische Ausbreitungssimulation¹ zum Empfängerpunkt durchgeführt. Da in der zweidimensionalen Modellierung grundsätzlich sämtliche Quellen Linienquellen entsprechen, musste auf die resultierende Schalldruck-Impulsantwort zusätzlich eine $1/\sqrt{c \cdot t}$ Gewichtung (c : Schallgeschwindigkeit, t : Schalllaufzeit) angewendet werden.

Für die Berechnungen wurde das Simulationsgebiet mit einem Gitter von 2 cm Maschenweite überzogen. Diese Diskretisierung erlaubt Aussagen bis zu einer oberen Grenzfrequenz von 2 kHz, d.h. die Terzbandpegelbewertungen sind bis zur 1.6 kHz Terz gültig.

Anhand der wellentheoretischen Simulationen wurde schliesslich unter Annahme des in SonRoad bzw. der SN EN 1793-3 spezifizierten Strassenverkehrslärmspektrums (Tabelle 1) jeweils ein A-bewerteter Immissionspegel für die verschiedenen Geometrien bestimmt.

Terz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1k25	1k6
Spec	-20.0	-20.0	-18.0	-16.0	-15.0	-14.0	-13.0	-12.0	-11.0	-9.0	-6.6	-7.3	-8.0

Tabelle 1: Angenommenes A-bewertetes Strassenverkehrslärmspektrum.

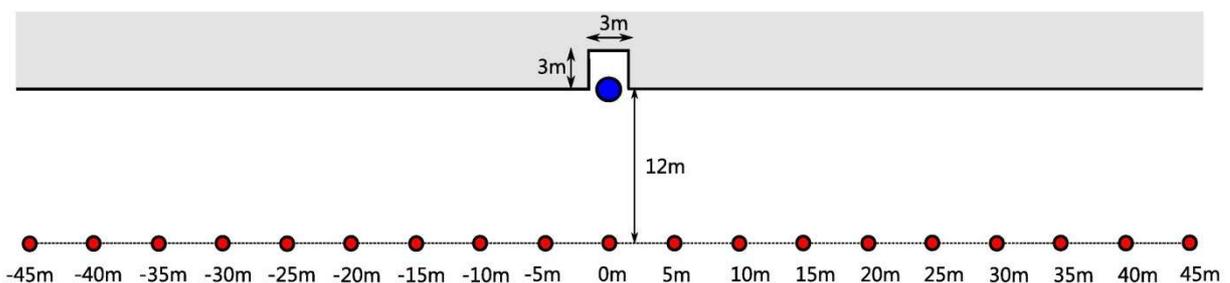


Abbildung 1: Referenzgrundriss „glatte Fassade“ mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

¹ Kurt Heutschi, Schallfeldprognosen bei Lärmschutzbauten, tec21, 46/2006 S. 9-11.

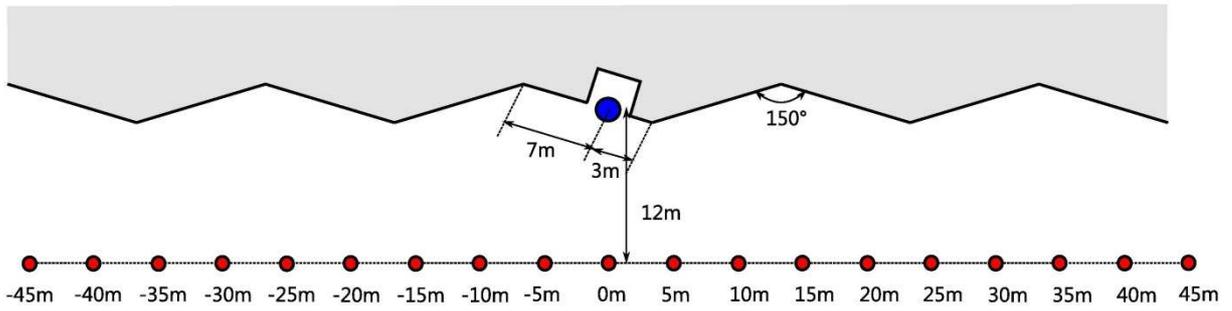


Abbildung 2: Zick-zack-Variante F1a mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

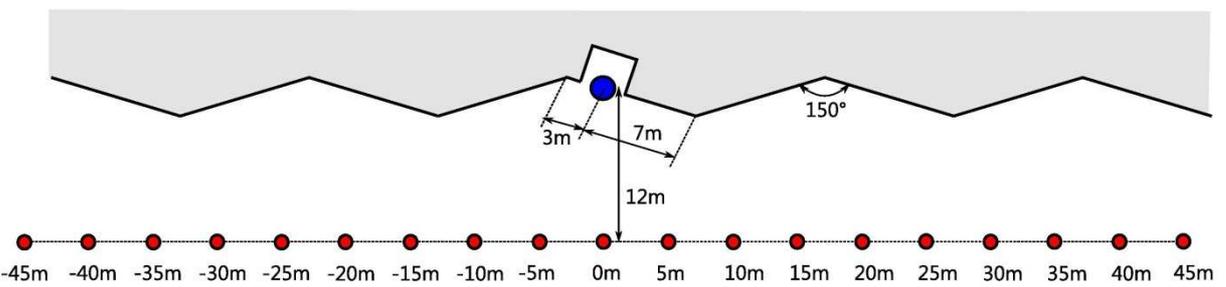


Abbildung 3: Zick-zack-Variante F1b mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

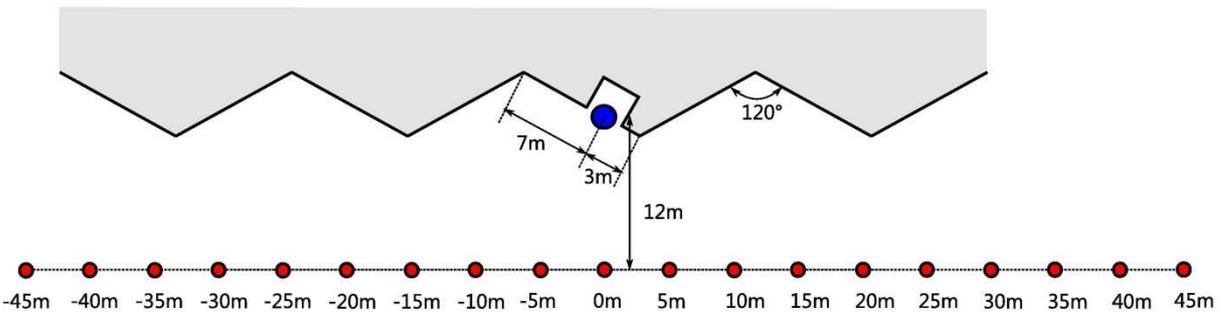


Abbildung 4: Zick-zack-Variante F2a mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

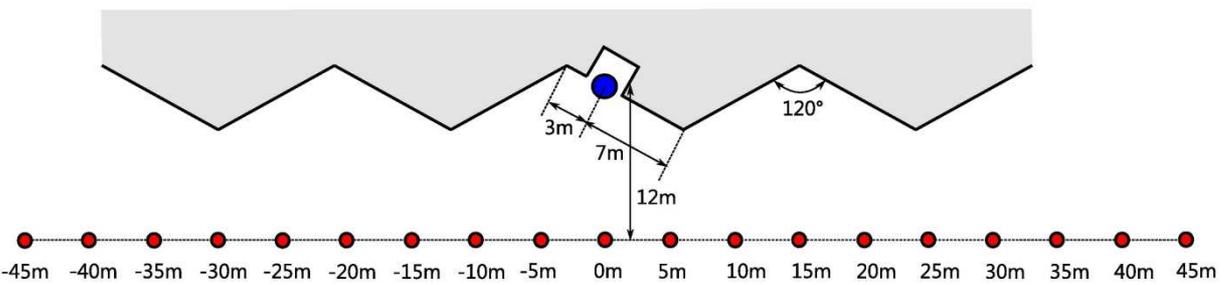


Abbildung 5: Zick-zack-Variante F2b mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

3 Simulationsergebnisse

3.1 Quellenpositionsabhängige Immission

Abbildung 6 zeigt die Auswertungen der Immissionspegel aufgeschlüsselt nach den Quellenpositionen „q-45“ bis „q+45“. Nebst den FDTD Simulationen wurde zusätzlich unter Annahme eines Punktquellenabstandsgesetzes analytisch der Immissionspegel für die Punktquellenreihe unter Freifeldbedingungen bestimmt. Der nahezu deckungsgleiche Verlauf der beiden Kurven „Referenz“ und „analytisch“ bestätigt die korrekte Implementierung der oben angesprochenen $1/\sqrt{c \cdot t}$ Gewichtungsfunktion in der FDTD Simulation. In beiden zick-zack-Varianten „F1x“ und „F2x“ zeigen sich gegenüber der glatten Fassade für die rechtsliegenden Quellenpositionen (ca. „q+20“...„q+45“) tiefere Pegel als Folge der Abschirmung durch die hervorspringende Ecke. Für die linksliegenden Quellenpositionen (ca. „q-45“...„q-10“) dagegen resultieren für die zick-zack Fassaden höhere Immissionspegel, hervorgerufen durch Reflexionen bzw. Streuung an den gewinkelten Flächen/Ecken.

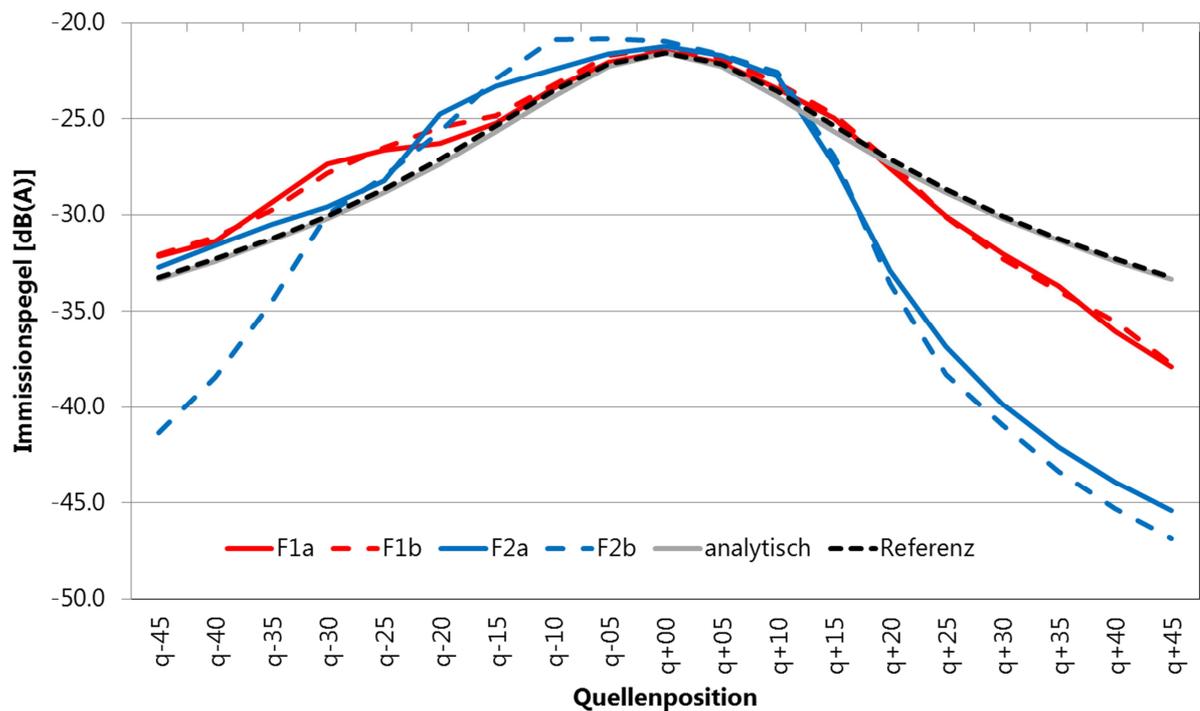


Abbildung 6: Relativer Immissionspegel in Abhängigkeit der Quellenposition. „F1a“ bis „F2b“ sind die Ergebnisse der zick-zack-Fassaden, „Referenz“ repräsentiert die FDTD Simulation der glatten Fassade, die Kurve „analytisch“ entspricht der analytischen Berechnung für ein Punktquellenverhalten.

3.2 Integration über Vorbeifahrt

Die Tabelle 2 zeigt die Ereignispegel einer ganzen Vorbeifahrt als Integration über die Beiträge aller Punktquellen. Es zeigt sich, dass die zick-zack-Varianten im Vergleich zur glatten Fassade (Referenz) zu 0.2 bis 0.4 dB(A) höheren Ereignispegeln führen. Die zick-zack-förmige Grundrissgestaltung kann damit anhand dieser exemplarischen Simulationen nicht als lärmmindernde Massnahme empfohlen werden.

Referenz	F1a	F1b	F2a	F2b
-13.4	-13.2	-13.0	-13.2	-13.0

Tabelle 2: Vorbeifahrtspegel als Integration über alle Punktuellen.

4 Unsicherheiten

Die Simulationen basieren auf den fundamentalen, die Schallausbreitung beschreibenden Differenzialgleichungen. Innerhalb des durch die Feinheit der Diskretisierung limitierten Frequenzbereichs ist die Simulation prinzipiell exakt. Allerdings musste hier die dreidimensionale Ausbreitung durch eine 2D Simulation mit nachträglich angewendeter „Verdünnungsfunktion“ approximiert werden. Dadurch wird in der Vertikalebene nur die geometrische Verdünnung korrekt nachgebildet, weitere Ausbreitungsphänomene wie z.B. der Bodeneffekt bleiben unberücksichtigt. Für den Vergleich der Immissionspegel auf glatter und zick-zack-förmiger Fassade erscheint diese Vereinfachung aber zulässig. Für die oben gezeigten Delta-Aussagen ist von einer Unsicherheit deutlich kleiner als 1 dB auszugehen.