

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. 521400.5799  
Ihr Auftrag vom: 14.4.2014  
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 9

### **Inhaltsverzeichnis**

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

---

Dübendorf, 3. Juni 2014  
Der Projektleiter:

K. Heutschi

Abteilung Akustik / Lärminderung  
Der Abteilungsleiter:

K. Eggenschwiler

## Zusammenfassung

Aus Gründen des Lärmschutzes gegenüber den Immissionen von Strassen werden mitunter Konzepte mit zick-zack-förmigen Grundrissformen bzw. Erkerlösungen vorgeschlagen. Diese Strukturen führen zwar zu einer Reduktion des sichtbaren Aspektwinkels, erzeugen aber gleichzeitig Reflexionen bzw. Streuungen. Zur Potenzialabschätzung solcher Massnahmen beauftragte die FALS des Kt. Zürich die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung mit der wellentheoretischen Simulation der Schallausbreitung in exemplarischen Geometrien. In den untersuchten Grundrissformen zeigte sich, dass der Effekt der Aspektwinkelbegrenzung durch Reflexionen mehr als kompensiert wird, sodass in den zick-zack Strukturen sogar leicht höhere Immissionspegel resultierten. Lediglich die Erkervariante führte zu einer geringen Pegelreduktion von 0.6 dB(A).

## **1 Ausgangslage und Auftrag**

Aus Gründen des Lärmschutzes gegenüber den Immissionen von Strassen werden immer wieder Konzepte mit zick-zack-förmigen Grundrissformen bzw. Erkerlösungen 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 bzw. Erkerlösungen wurden exemplarische Schallausbreitungssimulationen mit einem wellentheoretischen FDTD Modell durchgeführt. Nach Absprache mit Thomas Gastberger wurden dazu die in Abbildung 1 bis Abbildung 8 gezeigten Grundrisse bzw. Empfängerpositionen untersucht. Rund um den Empfangspunkt wurde jeweils eine 3 m tiefe und 3 m breite hochabsorbierende Nische angenommen. Im Falle des aus der Fassade herauspringenden Erkers wurde die Nische auf 2m x 2m verkleinert. Diese Nischenkonfiguration wurde gewählt um Interferenzerscheinungen bei einer Empfangspunktposition in kleinem Abstand zur reflektierenden Fassade auszuschliessen. 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 Ausbreitungssimulation<sup>1</sup> 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.

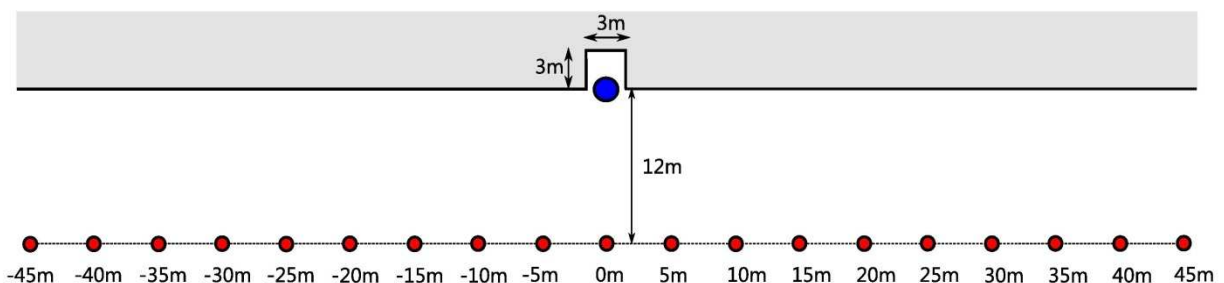


Abbildung 1: Referenzgrundriss „glatte Fassade“ mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

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

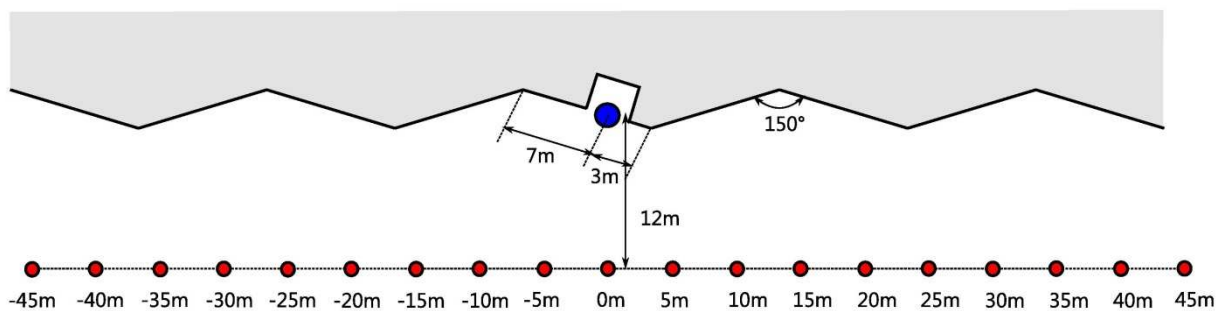


Abbildung 2: Zick-zack-Variante F1a mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

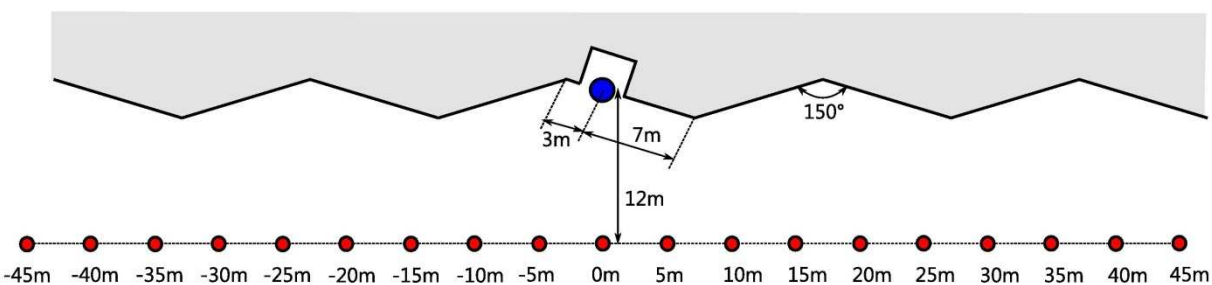


Abbildung 3: Zick-zack-Variante F1b mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

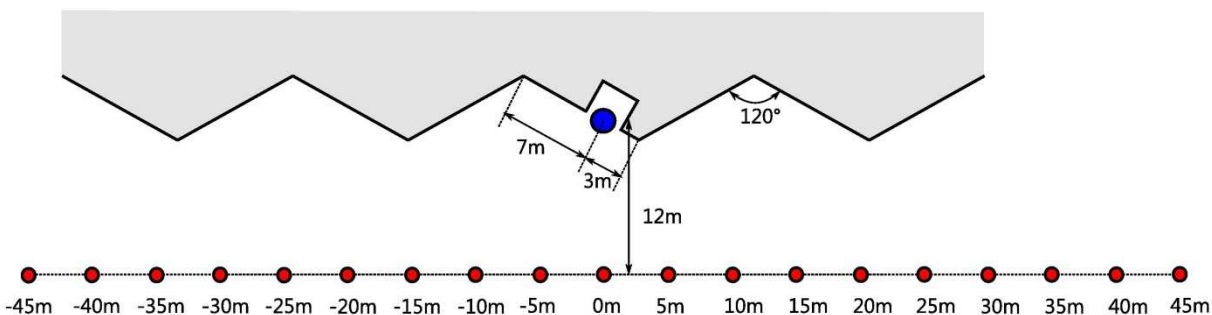


Abbildung 4: Zick-zack-Variante F2a mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

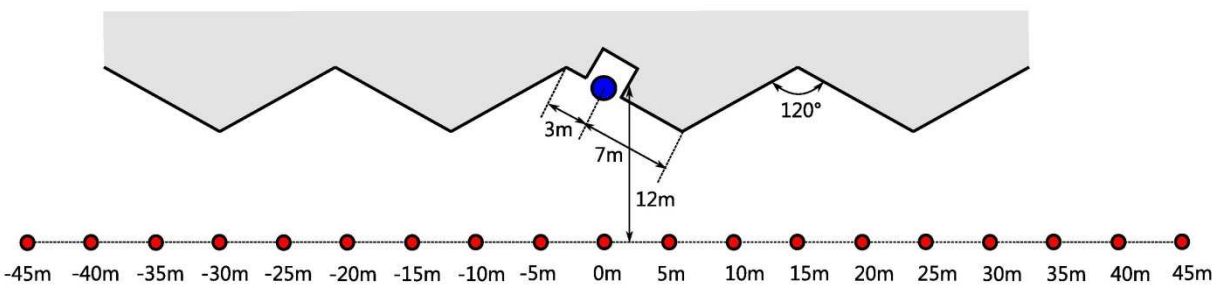


Abbildung 5: Zick-zack-Variante F2b mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

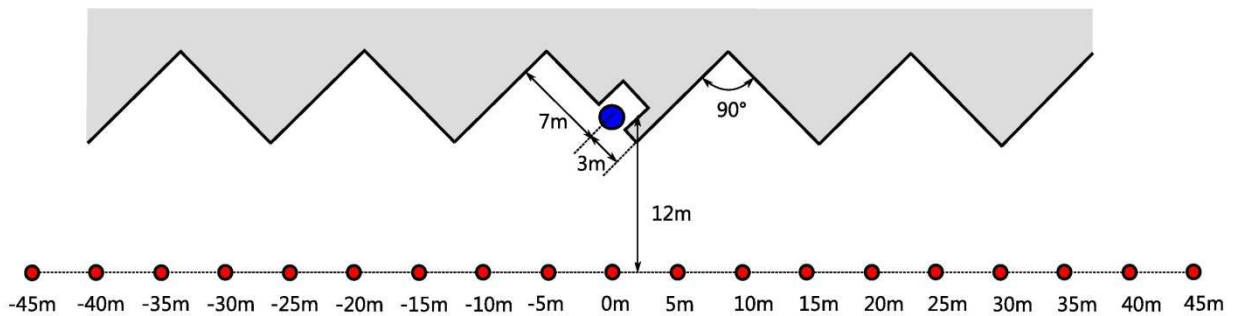


Abbildung 6: Zick-zack-Variante F3a mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

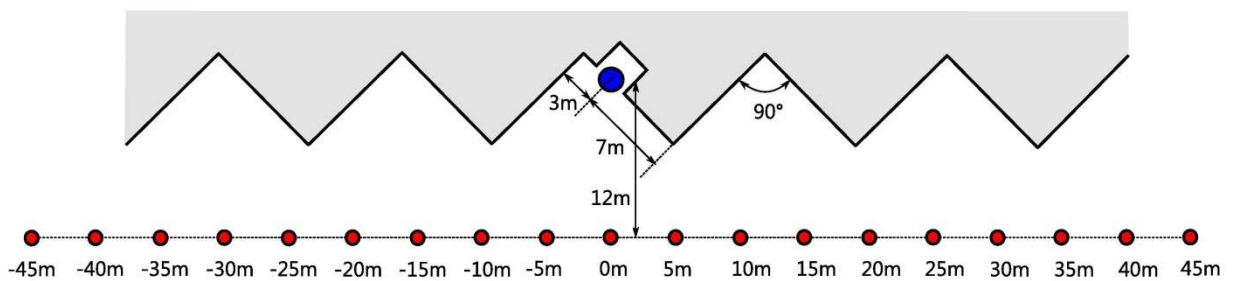


Abbildung 7: Zick-zack-Variante F3b mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau).

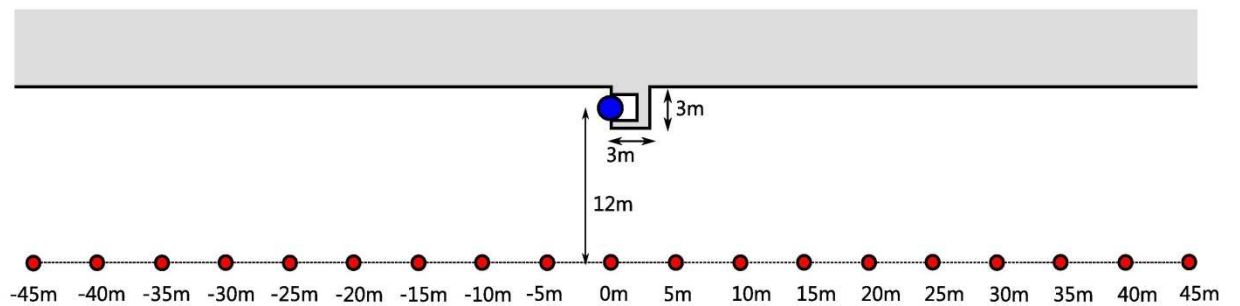


Abbildung 8: Erker-Variante F4 mit den 19 Quellenpositionen (rot) und dem Empfängerpunkt (blau). Hier ist die Öffnung rund um den Empfangspunkt zu 2m x 2m angenommen.

### 3 Simulationsergebnisse

#### 3.1 Quellenpositionsabhängige Immission

Abbildung 9 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 den drei zick-zack-Varianten „F1“ bis „F3“ zeigen sich gegenüber der glatten Fassade für die rechtsliegenden Quellenpositionen tiefere Pegel als Folge der Abschirmung durch die hervorspringende Ecke. Für die linksliegenden Quellenpositionen dagegen resultieren für die zick-zack Fassaden teilweise höhere Immissionspegel, hervorgerufen durch Reflexionen bzw. Streuung an den gewinkelten Flächen/Ecken. Ein ähnlicher Verlauf mit Abschirmung für Quellenpositionen rechts von „q-05“ und Verstärkung links von „q+00“ ergibt sich für die Erkervariante.

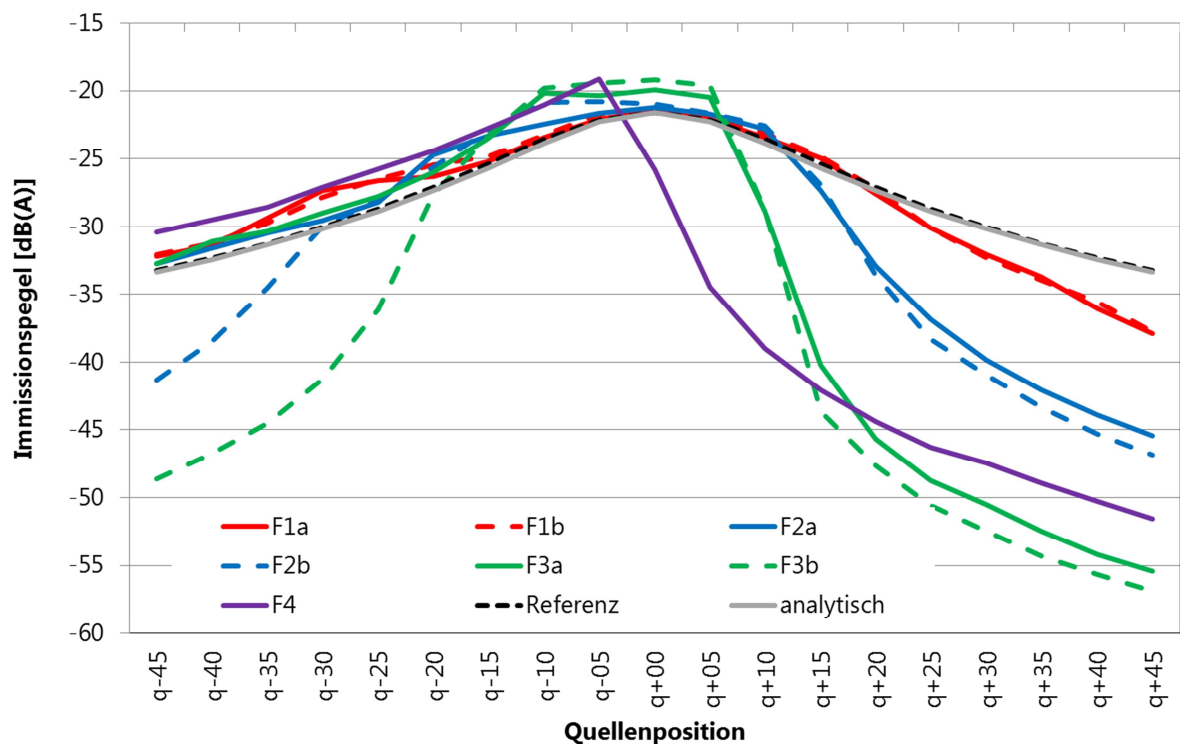


Abbildung 9: Relativer Immissionspegel in Abhängigkeit der Quellenposition. „F1a“ bis „F3b“ sind die Ergebnisse der zick-zack-Fassaden, „F4“ entspricht der Erkervariante, „Referenz“ repräsentiert die FDTD Simulation der glatten Fassade, die Kurve „analytisch“ entspricht der analytischen Berechnung für ein Punktquellenverhalten.

### 3.2 *Integration über Vorbeifahrt*

Die Tabelle 2 zeigt die Ereignispegel einer ganzen Vorbeifahrt als Integration über die Beiträge aller Punktquellen. Die Referenzsituation mit glatter Fassade wurde zu 0.0 dB gesetzt. Es zeigt sich, dass die zick-zack-Varianten im Vergleich zur glatten Fassade (Referenz) zu 0.2 bis 0.6 dB(A) höheren Ereignispegeln führen. Die Erkerlösung ergibt eine geringe Pegelminderung von 0.6 dB. Die zick-zack-förmige Grundrissgestaltung bzw. Erkerstrukturen können damit anhand dieser exemplarischen Simulationen nicht als lärmindernde Massnahme empfohlen werden.

Referenz	F1a	F1b	F2a	F2b	F3a	F3b	F4
0.0	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	0.6	-0.6

*Tabelle 2: Vorbeifahrtspegel als Integration über alle Punktuellen mit 0.0 dB(A) für die Referenzsituation .*



## 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-zackförmiger Fassade erscheint diese Vereinfachung aber zulässig. Für die oben gezeigten Delta-Aussagen ist von einer Unsicherheit deutlich kleiner als 1 dB auszugehen.