

3D-Simulation und Wirkungsanalyse von Lärmschutzmassnahmen mittels Randelementmethode

Peter Inäbnit

Lärmschutzfachstelle, Amt für Raumplanung Kanton Basel-Landschaft, CH-Liestal, peter.inaebnit@bl.ch

Einleitung

Mit der Revision des schweizerischen Raumplanungsgesetzes [1] im Jahr 2014 wurde der Fokus auf den häuslichen Umgang mit dem Boden gerichtet und die Siedlungsentwicklung nach innen gestärkt. Die Verdichtung führt vermehrt zu Herausforderungen beim Lärmschutz. Es werden Gebiete überbaut, die bisher nicht so attraktiv waren und nicht mehr genutzt werden, wie z. B. Industriebrachen, oder die Verdichtung erfolgt in Gebieten, die gut erschlossen zugleich jedoch mit Lärm vorbelastet sind.

Zur Einhaltung der Immissionsgrenzwerte bei lärmempfindlichen Räumen sieht die schweizerische Lärmschutzverordnung (LSV) in Art. 31 [2] die Anordnung der Räume auf der lärmabgewandten Seite des Gebäudes und bauliche oder gestalterische Massnahmen, die das Gebäude gegen Lärm abschirmen, vor.

Massnahmen am Gebäude wie z. B. verglaste Balkone oder Loggias sind im Sinne von Lärmschutzmassnahmen nach Art. 31 LSV nicht vorgesehen, bleiben jedoch in der Praxis teilweise die einzige Möglichkeit, den Lärm am offenen Fenster lärmempfindlicher Räume zu reduzieren.



Abbildung 1: Verglaste Loggia und schiebbare Glaselemente vor den Fenstern als Lärmschutzmassnahme entlang einer stark befahrenen Strasse.

Im Kanton Basel-Landschaft wurden Massnahmen am Gebäude anhin nach der Bauausführung messtechnisch überprüft oder bei grossen Projekten die Lärmschutzwirkung an massstäblichen Modellen vorgängig messtechnisch nachgewiesen. Die Lärmschutzfachstelle untersucht, ob sich mit der Randelementmethode (engl.: boundary element method, BEM) vorgängig die Wirkung solcher Massnahmen rechnerisch ermitteln lässt.

Ziele

Im Rahmen dieser Arbeit soll in einem ersten Schritt die technische Machbarkeit bezüglich Simulation von grossflächigen Strukturen wie ganze Gebäudefassaden, Häuser oder Strassenzeilen mittels BEM untersucht werden.

In einem weiteren Schritt sollen die Berechnungen mit anderen Simulationsverfahren und Messungen an massstäblichen Modellen resp. In-situ-Messungen verglichen und validiert werden. Es geht dabei um die Beantwortung der Frage, ob die akustischen Fragestellungen wie oben beschrieben mit den BEM-Simulationen beantwortet werden können und welche Randbedingungen dabei zu berücksichtigen sind.

Boundary Element Method (BEM)

Für die Lösung der Helmholtz-Gleichung mittels BEM werden die Oberflächen der modellierten Objekte diskretisiert. Den einzelnen Elementen werden akustische Eigenschaften zugeordnet (Druck, Schnelle, Impedanz) und ein Gleichungssystem erstellt.

Fast Multipole Method (FMM)

Für die Berechnung wurde die Schnelle Multipol Methode (engl.: fast multipole method, FMM) herangezogen. Bei der Lösung der Helmholtz-Gleichung ergibt sich mit der BEM die Herausforderung, dass bei der klassischen BEM eine Matrix zu lösen ist, welche eine quadratische Abhängigkeit von der Anzahl Elemente hat und somit der Rechenaufwand und die Datenmenge quadratisch mit der Anzahl Elemente zunimmt. Mit der FMM wird das Modell hierarchisch gegliedert und für den Rechenaufwand ergibt sich bei grossen Modellen eine lineare Abhängigkeit zu der Anzahl Elemente.

Software

Für die BEM-Berechnungen wurde der Rechenkern FastBEM Acoustics® Solver [3] verwendet. Das zu berechnende 3D-Modell wird als ASCII-Datei mit Knoten und Dreiecksflächen des Oberflächengitters dem Rechenkern übergeben. Die Dreiecksflächen sollten dabei maximal eine Länge von einem Zehntel der Wellenlänge aufweisen, damit brauchbare Ergebnisse berechnet werden können.

Für das Pre- und Post-Processing wurde eine eigene Software BEM-Configurator entwickelt, welche auf die Bedürfnisse der Aufgabenstellung zugeschnitten ist.

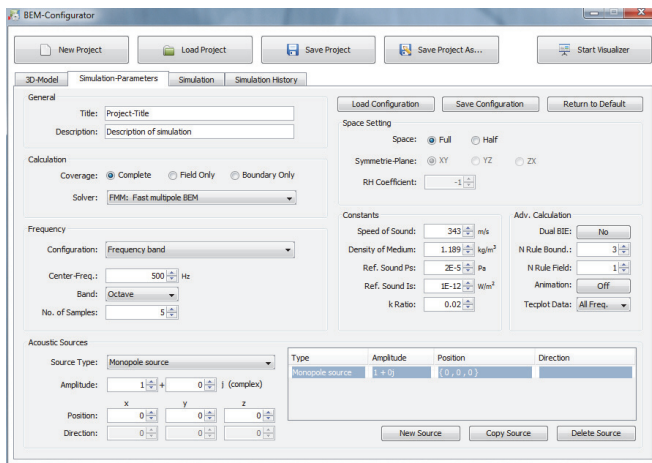


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Software BEM-Configurator für das Pre- und Postprocessing der FastBEM-Berechnungen.

Die Software BEM-Configurator übernimmt folgende Aufgaben:

- Import der 3D-Modelle als Wavefront OBJ-Datei
- Feinvermaschung des 3D-Modells
- Konfiguration der Berechnungsparameter
- Ausführung der BEM-Berechnungen mit FastBEM
- Auswertung der Berechnungsergebnisse
- Visualisierung

Berechnungen

In einem ersten Ansatz wurde die technische Machbarkeit der Berechnungen geprüft. Dafür wurde eine Workstation mit zwei CPU mit je 6 Rechenkernen und 16 GB Ram verwendet. Es wurde ein 3D-Modell eines Gebäudes erstellt.

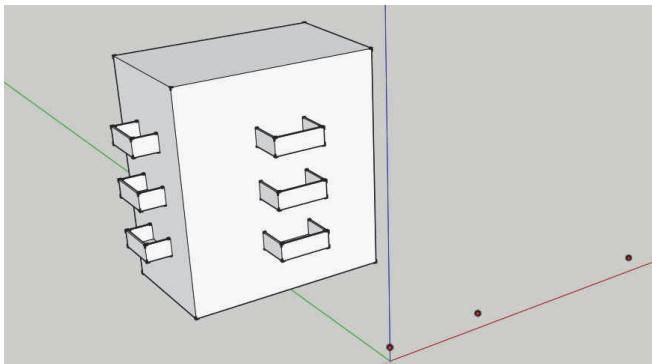


Abbildung 3: 3D-Modell eines Gebäudes mit Balkonen und 3 Punktquellen für die Berechnung des Einflusses von Balkonen mit resp. ohne absorbierender Decke auf die Immissionen.

Berechnet wurden drei Szenarien (Gebäude ohne Balkon, Gebäude mit Balkon, Gebäude mit Balkon und absorbierender Balkondecke), für welche auch Messresultate an einem massstäblichen Modell (1:16) vorhanden sind [4].

Für die Vergleichbarkeit wurden die am massstäblichen Modell gemessenen Frequenzen (2 kHz bis 16 kHz) auf den

1:1-Massstab umgerechnet und diese entsprechenden Frequenzbänder (125 Hz bis 1 kHz) mit FastBEM berechnet. Pro Terzband wurden sieben einzelne Frequenzen berechnet, um den Effekt von Interferenzen oder stehenden Wellen bei einzelnen Frequenzen zu minimieren.

Fazit

Das Modell mit Balkonen an der Frontfassade umfasst rund eine halbe Million Teilflächen. Für die Berechnung der drei Szenarien mit 3 Punktquellen und je 7 Frequenzen in 10 Terzbändern wurden 20 Tage benötigt.

Da es sich bei der FMM um ein iteratives Berechnungsverfahren handelt, kann die Berechnungszeit pro Frequenz unterschiedlich sein, weshalb sich die gesamte Berechnungsdauer schlecht prognostizieren lässt.

Die bisherigen Berechnungen zeigen, dass Objekte in der für die Fragestellung massgebenden Größenordnung mit rund einer Million Elemente berechenbar sind, wobei die einzelnen Berechnungsparameter einen erheblichen Einfluss auf die Berechnungsdauer haben.

Ausblick

In den weiteren Schritten soll der Einfluss der Berechnungsparameter auf die Resultate weiter untersucht und die Berechnungen validiert werden, indem sie mit anderen Berechnungsverfahren und Messungen verglichen werden.

Es soll zudem aufgezeigt werden, wie viele Frequenzen für eine Abschätzung der Wirkung von Lärmschutzmassnahmen berechnet werden müssen und mit welchem Rechenaufwand dies verbunden ist.

Sofern sich die Berechnungen mit moderatem Rechenaufwand durchführen lassen und sich damit brauchbare Resultate erzielen lassen, sollen Vorgaben zur Verwendung von BEM bei der Beurteilung von Lärmschutzmassnahmen definiert werden.

Danksagung

Wir bedanken uns für die Förderung der Arbeit durch die Stiftung Res Bona, Birsfelden. Darüber hinaus danken wir für die Unterstützung von Dr. Markus Ringger, Fachhochschule Nordwestschweiz Muttenz und Dr. Kurt Heutschi, EMPA Dübendorf.

Literatur

- [1] Raumplanungsgesetz (Schweiz) (RPG; SR 700)
- [2] Lärmschutz-Verordnung (Schweiz) (LSV; SR 814.41)
- [3] Software FastBEM Acoustics®, URL: <http://www.fastbem.com>
- [4] Lärmessungen am Modell, Einfluss von Balkonen und Loggien auf Verkehrslärmimmissionen, CAS Akustik, Fachhochschule Nordwestschweiz Muttenz, Ursula Ott, Petra Panzer,