

Schallfelder im überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Empa, CH-8600 Dübendorf, Schweiz

2009-11-05

Schallfelder im
überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Ausgangslage

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

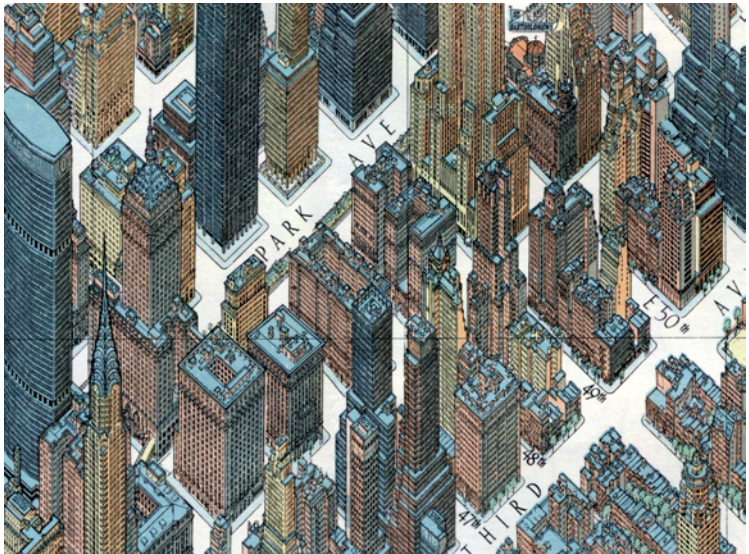
Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur



Schallfelder im überbauten Gebiet

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

- ▶ typisch sehr hohe Abschirmwirkungen für Direktschallpfad
 - ▶ bedeutende Gebäudehöhen im Vergleich zu z.B. Lärmschutzwänden
- ▶ Immissionen typisch dominiert durch Reflexionen an Fassadenflächen (und Boden)
 - ▶ Ein- und Mehrfachreflexionen

Schallfelder im
überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

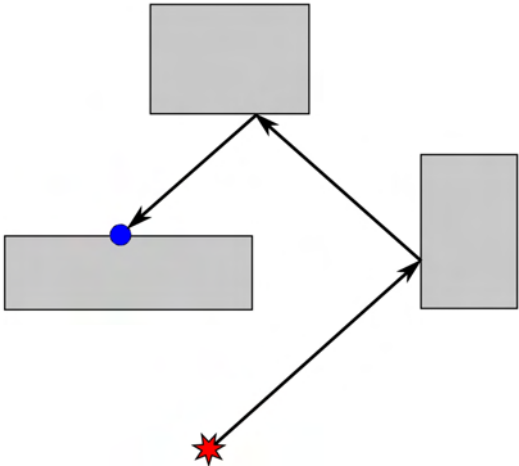
Implementierung

Fazit

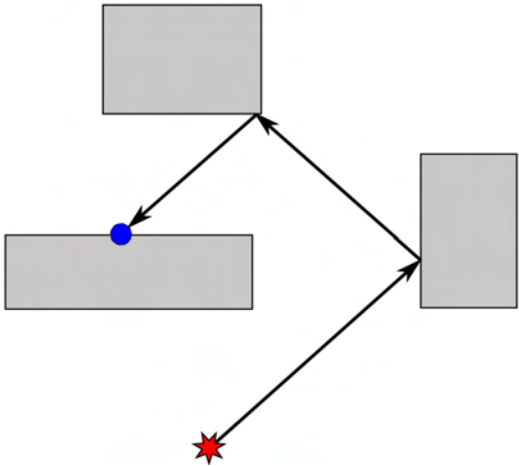
Literatur

Spiegelquellenansatz

klassischer Ansatz: Spiegelquellen



klassischer Ansatz: Spiegelquellen



klassischer Ansatz: Spiegelquellen

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

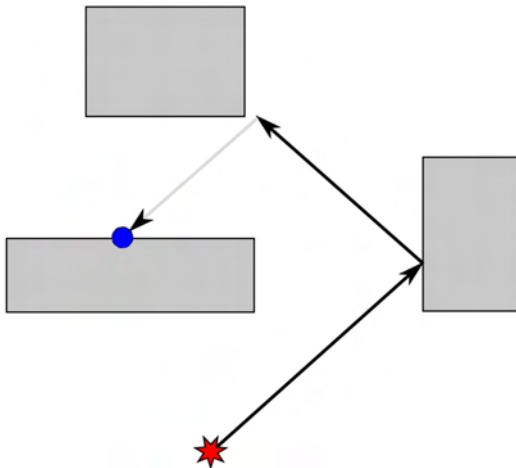
Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur



klassischer Ansatz: Spiegelquellen

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

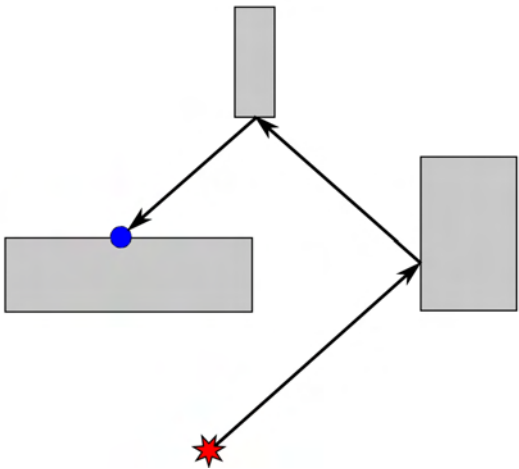
Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur



klassischer Ansatz: Spiegelquellen

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

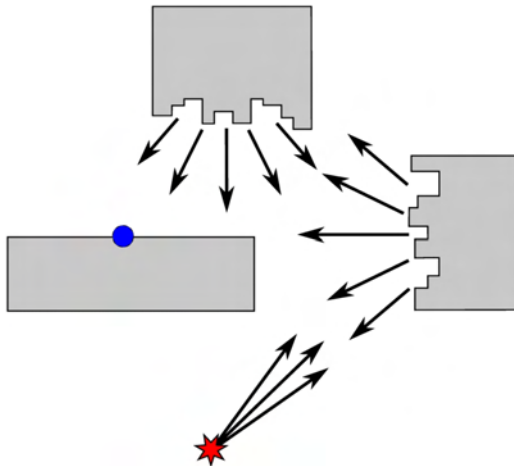
Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur



Schallfelder im
überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Reflexionsphänomene

Reflexionsphänomene: glatte Oberflächen

- ▶ glatte Oberflächen: → "spiegelnde Reflexion"
 - ▶ *kohärente* Reflexion → Interferenzeffekte mit weiteren Pfaden berücksichtigen
 - ▶ Spiegelquellenkonzept gültig für ∞ ausgedehnten Reflektor
 - ▶ Konsequenzen bei endlichen Flächen
 - ▶ reduzierte Reflexionsstärke (streifende Reflexion + tiefe Frequenzen → sehr grosse *benötigte* Flächen)
 - ▶ Beugung an Flächenkanten
 - ▶ Teilreflexion auch wenn Reflexionspunkt nicht auf Fläche liegt

Reflexionsphänomene: strukturierte Oberflächen

- ▶ strukturierte Oberflächen: → "streuende Reflexion"
 - ▶ *inkohärente* Reflexion → Energiebetrachtungen sind o.k.
 - ▶ zu erwarten bei gemessen an λ nennenswert tiefenstrukturierten Oberflächen
 - ▶ Richtcharakteristik für Streuung typ. gemäss *Lambert*: $I(\phi) \sim \cos(\phi)$ angenommen

Modellierung

Modellierung

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

- ▶ *kohärente* (spiegelnde) Reflexion
 - ▶ Wellenphänomene relevant
 - ▶ eher bei tiefen Frequenzen
 - ▶ wellentheoretische Lösungen in Reichweite
(notwendige Diskretisierung als Bruchteil von grossen λ wird relativ grob)
- ▶ *inkohärente* (diffuse) Reflexion
 - ▶ Interferenzphänomene mitteln sich aus
 - ▶ eher bei hohen Frequenzen
 - ▶ Energiebetrachtung genügt

Modellierung

- ▶ *kohärente* (spiegelnde) Reflexion
 - ▶ Wellenphänomene relevant
 - ▶ eher bei tiefen Frequenzen
 - ▶ wellentheoretische Lösungen in Reichweite
(notwendige Diskretisierung als Bruchteil von
grossen λ wird relativ grob)

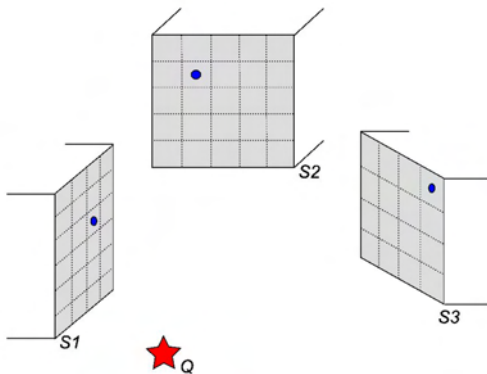
- ▶ *inkohärente* (diffuse) Reflexion
 - ▶ Interferenzphänomene mitteln sich aus
 - ▶ eher bei hohen Frequenzen
 - ▶ Energiebetrachtung genügt

Modellierung

- ▶ hybrider Ansatz:
 - ▶ **kohärentes Modell**
 - ▶ für spiegelnde Reflexion
 - ▶ für tiefe Frequenzen
 - ▶ als Schalldruck formulieren
 - ▶ **inkohärentes Modell**
 - ▶ für streuende Reflexion
 - ▶ für hohe Frequenzen
 - ▶ als Oberflächenintensität formulieren

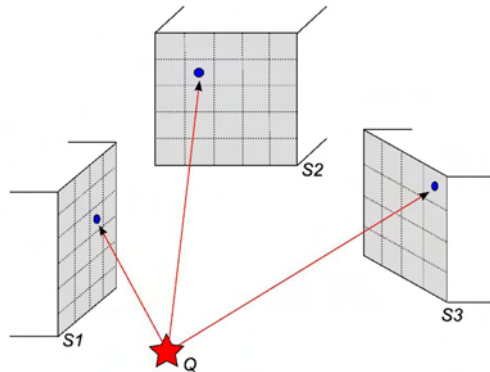
Modellierung: Diskretisierung

Druck- bzw. Energieaustausch zwischen diskretisierten
Flächenelementen:



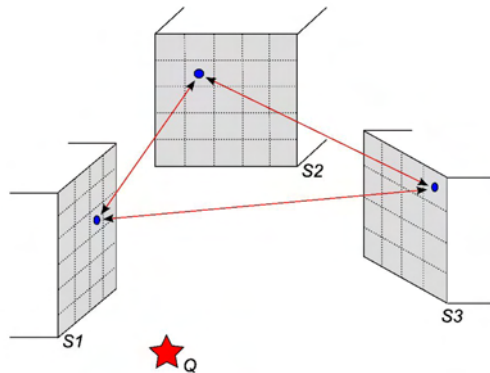
Modellierung: Diskretisierung

Druck- bzw. Energieaustausch zwischen diskretisierten
Flächenelementen:



Modellierung: Diskretisierung

Druck- bzw. Energieaustausch zwischen diskretisierten
Flächenelementen:



Modellierung: physikalische Grundlagen

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Steuerung des Druck- bzw. Energieaustausches:

- ▶ kohärentes Modell
 - ▶ Kirchhoff-Helmholtz Integral
- ▶ inkohärentes Modell
 - ▶ Energieerhaltung
 - ▶ Reflexionsrichtcharakteristik: Lambert

Validierung

Validierung des kohärenten Modells

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

- ▶ Vergleich mit
 - ▶ Massstabsmodellmessungen
 - ▶ FDTD Simulationen

Validierung: Situation 1

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

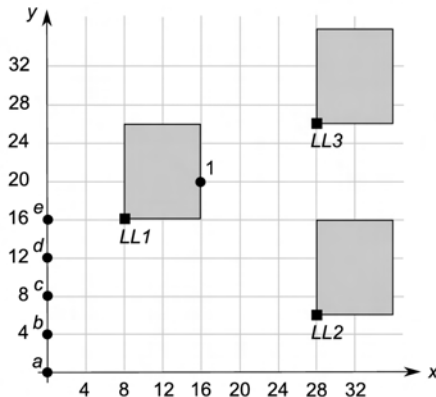
Modellierung

Validierung

Implementierung

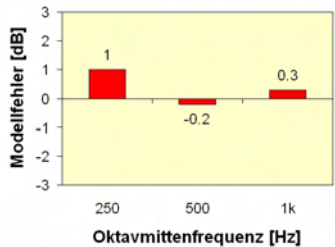
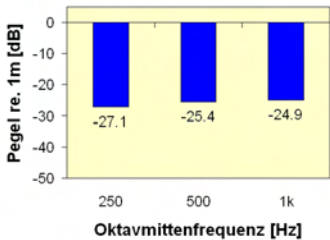
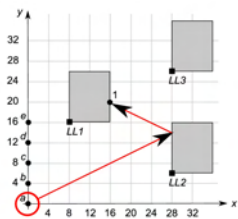
Fazit

Literatur

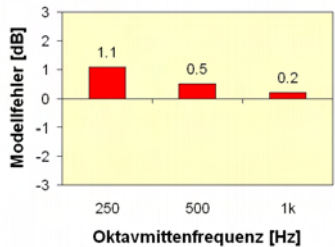
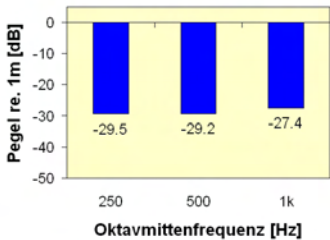
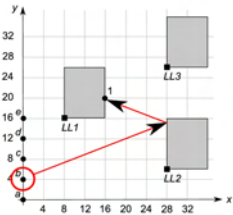


- gültige Spiegelquellen für Quellenpositionen a, b

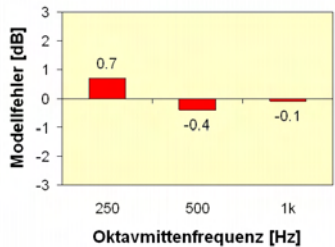
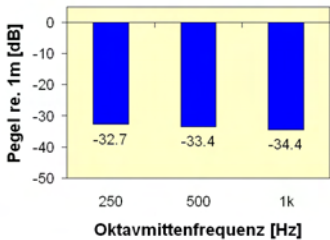
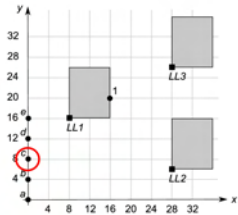
Validierung: Situation 1-a



Validierung: Situation 1-b



Validierung: Situation 1-c



Validierung: Situation 1-d

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

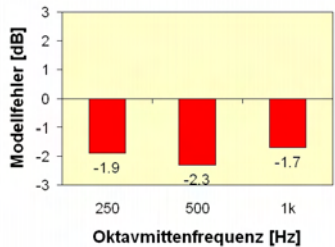
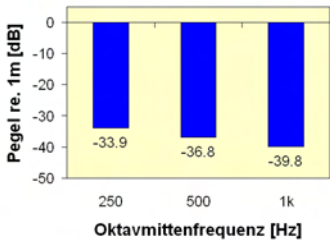
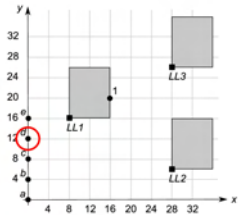
Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur



Validierung: Situation 1-e

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

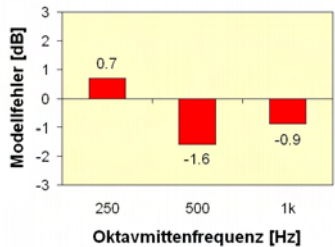
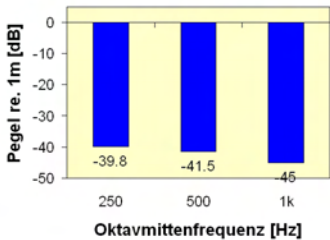
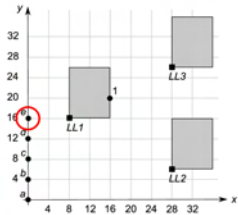
Modellierung

Validierung

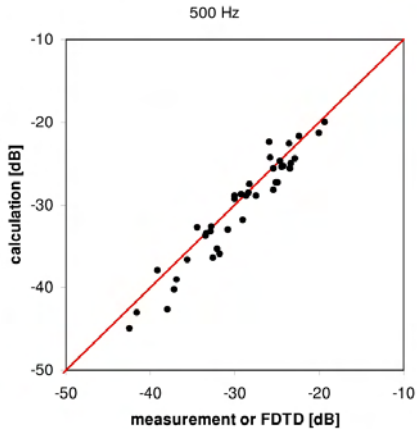
Implementierung

Fazit

Literatur



Validierung: alle Situationen



	250 Hz	500 Hz	1 kHz
im Mittel [dB]	0.6	1.0	-0.3
Standardabweichung [dB]	2.0	1.8	2.6

Schallfelder im
überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Implementierung

Implementierung

- ▶ typisch kohärente, frequenzabhängige Rechnung unter 500 Hz
 - ▶ hoher Rechenaufwand, da alle Fassadenflächen im Dezimeterbereich diskretisiert werden müssen
- ▶ typisch inkohärente, frequenzunabhängige Rechnung über 500 Hz
 - ▶ deutlich geringerer Rechenaufwand, Diskretisierung im Meterbereich

Implementierung

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Optimierungen:

- ▶ pre-processing
 - ▶ Sichtbarkeitstabellen erzeugen
 - ▶ Ausschlusskriterien formulieren

Implementierung: Beispiel Chur

Situation:



Implementierung: Beispiel Chur

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

- ▶ 1 Linienquelle → 285 Punktquellen
- ▶ 1846 Gebäude → **9416 Flächen**
- ▶ 9493 Empfänger
- ▶ im Durchschnitt steht jede Fassade mit 15 anderen Fassaden in Sichtkontakt
- ▶ Rechenaufwand auf 1 PC: 360 Stunden

Schallfelder im
überbauten Gebiet

Kurt Heutschi

Ausgangslage

Spiegelquellenansatz

Reflex.phänomene

Modellierung

Validierung

Implementierung

Fazit

Literatur

Fazit

- ▶ genaues Modell, das auch wellentheoretische Aspekte abbildet
- ▶ aber: sehr grosser Rechenaufwand
 - ▶ weitere Optimierungen anstreben
 - ▶ vorläufig nur für kleinere Gebiete anwendbar

Literatur

- ▶ K. Heutschi, Calculation of reflections in an urban environment, Acta Acustica united with Acustica, vol. 95, 644-652 (2009).