

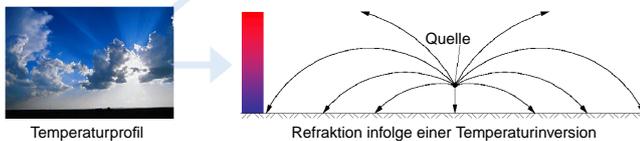
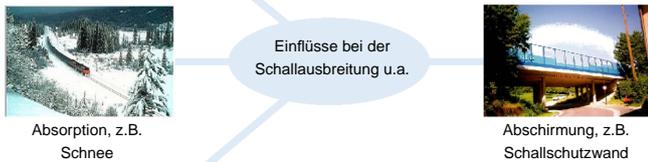
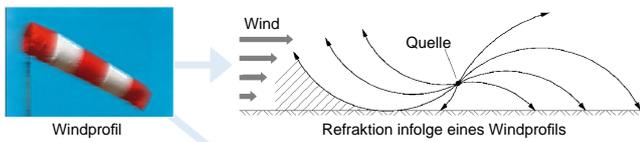


## Motivation

Zur Beurteilung von Schallschutzmaßnahmen werden realitätsnahe Computersimulationen benötigt, um aufwendige Messungen zu vermeiden bzw. zu reduzieren.



Typische Lärmquellen



In dieser Arbeit wird ein Simulationsmodell erstellt, das alle wichtigen Phänomene wie Beugung an Kanten und Refraktion (Brechung) infolge inhomogener Atmosphäre berücksichtigt, indem es die Vorteile der Randelementmethode und des Raytracing kombiniert.

## Randelementmodell (BEM)

HELMHOLTZ-Gleichung:

$$\Delta p + k^2 p = 0$$

Randintegralgleichung:

$$c(\vec{\xi})p(\vec{\xi}) + \int_{\Gamma} \frac{\partial p^*}{\partial \vec{n}}(\vec{x}, \vec{\xi})p(\vec{x})d\Gamma_x = \int_{\Gamma} p^*(\vec{x}, \vec{\xi}) \frac{\partial p}{\partial \vec{n}}(\vec{x})d\Gamma_x$$

mit Fundamentallösung (3D):  $p^*(\vec{x}, \vec{\xi}) = \frac{e^{ik|\vec{x}-\vec{\xi}|}}{4\pi|\vec{x}-\vec{\xi}|}$

Gleichungssystem nach der Diskretisierung:

$$\mathbf{G} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{n}} - \mathbf{H} \mathbf{p} = \mathbf{0}$$

- keine Diskretisierung des Gebiets nötig (nur Rand)
- Wellenphänomene wie Beugung in der DGL erfasst
- SOMMERFELDSche Abstrahlbedingung implizit erfüllt
- Fundamentallösung i.d.R. nur für homogene Gebiete bekannt
- hoher Rechenaufwand bei großen Gleichungssystemen, da Matrizen vollständig besetzt

## Raytracing-Modell

- Geometrische Akustik → Teilchen- statt Wellencharakter
- daher keine Wellenphänomene wie Beugung erfasst
- Wind- bzw. Temperaturprofil einfach vorzugeben (für Refraktion)
- geringer Rechenaufwand nötig

Algorithmus:

- Geometrische Ermittlung der Schallstrahlen von der Quelle zum Empfänger mit Hilfe des SNELLIUSSchen Refraktionsgesetzes
- Addition der Anteile aller  $m$  Strahlen am Empfänger:

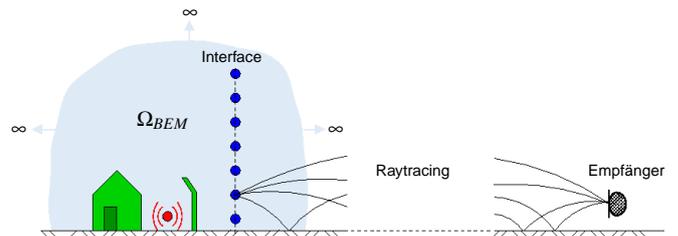
$$p = \sum_m A_m \exp(i\phi_m)$$

## Kopplung

Hybrides Modell:

- BEM um Primärquelle und Hindernisse (Beugung, Reflexion)
- Raytracing über große Distanzen (mit Brechung)

Einseitige Kopplung am virtuellen Interface:



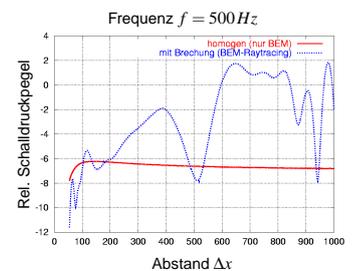
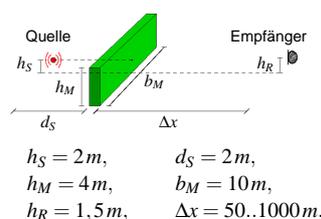
Vorgehen in drei Schritten:

1. Direkte BEM: Berechnung der Druckverteilung  $p$  am Interface
2. Indirekte BEM: Umrechnung in Quellintensitätsverteilung  $a^*$  :

$$\int_{IF} G(\mathbf{x}, \xi) a^*(\xi) d\Gamma_{\xi} = \bar{p}(\mathbf{x})$$

3. Raytracing mit äquivalenten Punktquellen

## Beispiel: Schallschutzwand



Im Vergleich zur Ausbreitung in homogener Atmosphäre treten bei Berücksichtigung einer abwärts refraktierenden Atmosphäre im Mittel deutlich höhere Schalldruckpegel am Empfänger auf. Um den ungünstigsten Lastfall für die Immissionsprognose zu erhalten, ist eine Berücksichtigung dieses Einflusses in der Simulation daher unerlässlich.