

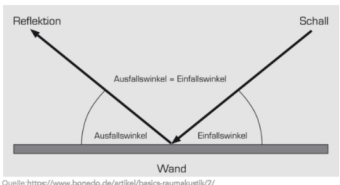
Raumakustiksimulation

in kleinen Räumen

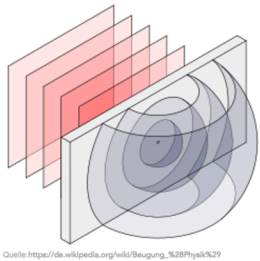
Grundlagen

Was ist Schall? - Welle ausgehend von mechanischer Schwingung

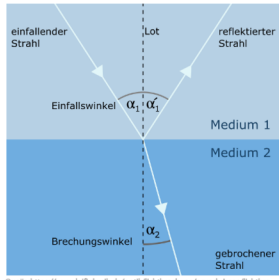
Reflexion



Beugung



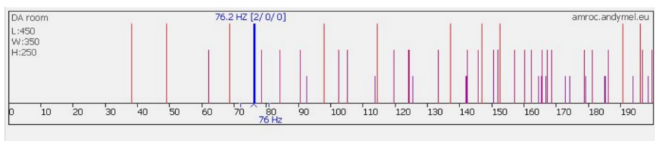
Brechung



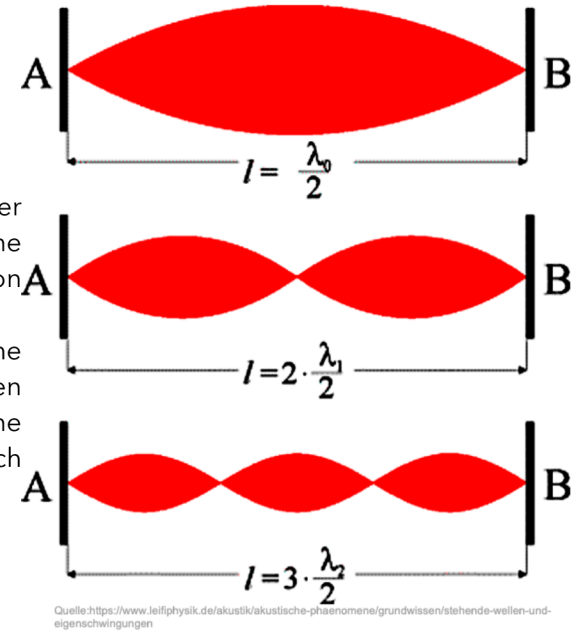
Beim Auftreffen einer akustischen Welle auf ein Hindernis tritt meist teilweise eine **Reflexion** ein, der andere Teil fährt in die ursprüngliche Richtung durch das Hindernis fort. Es gilt Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel.

„Die Ablenkung eines Teils der Welle in andere Ausbreitungsrichtungen [...] beim Durchgang durch räumliche Begrenzungen [...] nennt man Beugung“ (Demtröder, 2013) Beim Übergang zwischen zwei Medien tritt außerdem eine **Brechung** ein, bewirkt durch unterschiedliche Materialdichten.

Vorausschauend auf die Herangehensweisen der Erfassung einer Raumakustik ist die **Dichte und Verteilung der Moden** im Frequenzspektrum von wesentlicher Bedeutung. Bei einer ausreichenden Dichte spielen einzelne Moden keine Rolle und gehen mit einer 5Hz Resonanzbandbreite als Nachhall ineinander über; im Allgemeinen steigt jedoch die Dichte mit zunehmender Frequenz an.



Das Wellenphänomen Interferenz spielt in der Raumakustik eine bedeutende Rolle. Eine Überlagerung von Wellen resultiert in der Addition ihrer einzelnen Amplituden. Reflexion kann bewirken, dass auf eine Fläche auftreffende Wellen mit der zurückgeworfenen Schwingung überlagert werden und sich eine **stehende Welle** ausbildet. Diese wird durch örtlich invariante Bäuche und Knoten, wo der Schalldruck Maxima/ Minima aufweist, charakterisiert



Simulationsmethoden

Geometrisch

- Teilchencharakter
- Berechnung basierend auf Strahlen und Energie
- Berücksichtigt keine Wellenphänomene

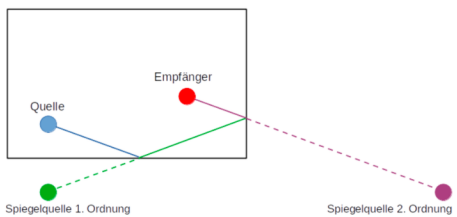
Wellenbasiert

- Wellencharakter
- Lösung der Wellengleichung mithilfe von Randbedingungen
- Rechenintensiv

Spiegelquellenmethode

Image Source Method

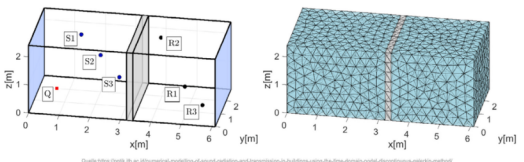
Häufig als Image Source Method/Model bezeichnet, werden die möglichen Wege des Schalls zwischen einer Quelle und einem Empfangspunkt berechnet. Dazu werden neue virtuelle Quellen definiert, die der an den Wänden oder Hindernissen gespiegelten Originalquelle entsprechen, sie heißen Spiegelquellen erster Ordnung. Eine einzige Reflexion zwischen Quelle und Empfänger benötigt eine Spiegelung der Quelle an der entsprechenden Wand, bei weiteren Reflexionspunkten auf demselben Weg müssen die virtuellen Quellen selbst gespiegelt werden. Die Anzahl der zu berücksichtigten Reflexionen bestimmt die Ordnung der Spiegelschallquelle.



Finite Elemente Methode (FEM)

Lösung der Wellengleichung

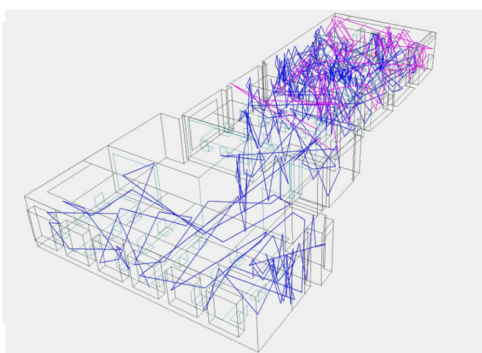
Eine Methode der wellentheoretischen Simulation ist die Finite Elemente Methode (FEM). Das Grundprinzip dahinter besteht darin, ein System in kleine Teile zu zerlegen (Finite Elemente), diese einzeln anhand von Randbedingungen zu berechnen und am Schluss wieder zusammenzuführen. Diese Technologie wird bereits regelmäßig im Bereich Maschinentechnik eingesetzt.



Ray Tracing

und Ray Radiosity

Der ausgesandte Schall wird als eine Vielzahl von Strahlen modelliert, die unter statistischer Verteilung von der Quelle ausgesandt werden und mit den Oberflächen interagieren. Dadurch treten Richtungsänderungen der Bewegung und Energieverluste durch Absorption ein. Wenn ein Strahl den kugelförmigen Bereich um den Empfänger durchquert, wird er in das Ergebnis einberechnet; dies geschieht mithilfe eines Energiehistogramms.



Durchbruch

Treble Technologies ist ein Startup aus Island, das März 2023 die Treble Acoustic Simulation Platform auf den Markt brachte. Sie verbindet geometrische Simulationsmethoden mit wellentheoretischen Berechnungen zu einer hybriden Simulation von Breitband-Impulsantworten. Das Spektrum wird zweigeteilt und unterschiedliche Berechnungsmethoden angewandt. So kann das dominierende modale Verhalten in kleinen Räumen in der Simulation wiedergefunden werden.

Frequenzbereich	0 Hz bis tiefste Axialmode	tiefste Axialmode bis Übergangsfrequenz	Übergangsfrequenz bis 4 x Übergangsfrequenz	4 x Übergangsfrequenz bis 20.000 Hz
Charakterisierung	Keine Resonanzen	Geringe Modendichte	Übergangsbereich	Hohe Modendichte

$$F_s = 2000 \sqrt{\frac{RT60}{V}}$$

Die Formel für die Schröderfrequenz ist auf Manfred Schröder zurückzuführen. Sie dient zur Berechnung der Übergangsfrequenz und dem Übergangsbereich zwischen modalem und stochastischem, bzw. diffusem Verhalten in einem Raum. Ab dieser Frequenz fallen „mindestens drei Eigenfrequenzen in die Bandbreite einer Mode“ (Maier, 2008).

