



Doctoral Thesis

## Beitrag zur Messung und Berechnung der Schallausbreitung in raumähnlicher Umgebung

**Author(s):**

Heutschi, Kurt

**Publication Date:**

1993

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000887866> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 9950

BEITRAG ZUR MESSUNG UND BERECHNUNG DER  
SCHALLAUSBREITUNG  
IN RAUMÄHNLICHER UMGEBUNG

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

KURT HEUTSCHI  
Dipl. El. Ing. ETH  
geboren am 26. Februar 1961  
von Balsthal SO

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. E. J. Rathe, Referent  
Prof. Dr. J. L. Massey, Korreferent

1993

## Zusammenfassung

In Städten und Agglomerationen ist die Bebauungsdichte so gross, dass sich häufig eigentliche Strassenschluchten bilden. Dabei können die vom Strassenverkehr verursachten Lärmimmissionen im Vergleich zur Freifeldausbreitung eine beträchtliche Erhöhung erfahren. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Ausmessung und rechnerischen Modellierung derartiger raumähnlicher Situationen.

Die Messung von Impulsantworten mit Hilfe der Korrelationstechnik hat in der Raumakustik einige Verbreitung gefunden. Es gibt auch im Freien interessante Anwendungen dieser Methode, beispielsweise bei der Bestimmung des Reflexionsverhaltens von Wänden.

Auf Grund von Langzeitversuchen im Freien wurden die Turbulenzauswirkungen des Mediums Luft auf das Messverfahren untersucht. Um bei Clockraten von 30 kHz und Messdistanzen bis zu hundert Metern zuverlässige Resultate zu erhalten, musste die Sequenzlänge auf einige hundert Samples begrenzt werden. Da damit die Kanalimpulsantwort in der Regel wesentlich länger als die Sequenzdauer ist, können keine periodisch fortgesetzten Sequenzen (Maximalfolgen) verwendet werden. Eine Lösung bietet der Einsatz von aperiodisch gesendeten Sequenzen und Korrelation mit der entsprechenden Inversen.

Für die Computermodellierung der Schallausbreitung in raumähnlicher Umgebung (Strassenschluchten) wird ein neuer Ansatz vorgeschlagen. Ein Vorteil besteht darin, dass der Rechenaufwand nur schwach mit der Anzahl Quellenpositionen zunimmt. Dies ist wichtig für die Modellierung von bewegten Fahrzeugen durch eine Vielzahl von Einzelquellen.

Die zentrale Idee des neuen Ansatzes beruht auf der Nachbildung des Schallausbreitungsvorganges durch den fortgesetzten Energieaustausch zwischen festen, sogenannten R-Punkten auf den Raumbegrenzungsflächen. Die Simulationsrechnung bestimmt in einem ersten Schritt die Tabellen zur Beschreibung der Energieweitergabe innerhalb des R-Punkte-Netzes und spielt im zweiten Schritt simultan die Energieeinspeisung aller Quellen ins R-Punkte-Netz mit dem anschliessenden Austausch durch. Die Reflexionsrichtcharakteristika der Begrenzungsflächen können beliebig in Form einer Tabelle definiert werden. Be-

gungserscheinungen werden durch den Einbezug von R-Punkten auf Kanten modelliert. Als Nachteil des Modellansatzes muss in der allgemeinen Form der grosse Speicherplatzbedarf erachtet werden. Auf einem PC mit 4 MByte Speicher kann ein Netz von 40 R-Punkten verarbeitet werden. Wenn allerdings die beliebig definierbare Form der Reflexionsrichtcharakteristika der Begrenzungsflächen aufgegeben wird und nur noch mit einer Überlagerung der beiden idealisierten Reflexionsarten 'spiegelnd' und 'diffus' gearbeitet wird, reduziert sich der Speicherplatzbedarf beträchtlich.

Verschiedene Vergleiche von eigenen Simulationsergebnissen mit Messungen und in der Literatur dokumentierten Simulationen zeigten eine gute Übereinstimmung. Als ausführliches Anwendungsbeispiel wurde systematisch für eine Klasse von 256 verschiedenen Bebauungsvarianten entlang einer Strasse für unterschiedliche Fahrspurlagen und Empfängerstandorte der sich ergebende Immissionspegel-Bebauungszuschlag gegenüber Freifeldausbreitung bestimmt und in Katalogform zusammengestellt.

## **Abstract**

In cities the density of buildings is often so high, that a kind of gorge is formed along the streets. Compared to sound propagation in free field conditions, the noise immission levels from road traffic can increase considerably. The present report concerns measurements and computer simulations for this kind of situation.

Impulse response measurements by means of the correlation technique are well established in room acoustics. There are also interesting applications of this method outdoors for measuring the reflection characteristics of walls.

By means of extended long term experiments outdoors, the effects of turbulences on impulse response measurements by the correlation method were studied. For accurate results at clock rates of 30 kHz and measuring distances up to one hundred meters the sequence length had to be reduced to a few hundred samples. When the resulting sequence length is much shorter than the impulse response of the channel, it is usually not possible to use periodic (pseudo-random) sequences. The problem can be overcome by using aperiodic

sequences and correlating them with the appropriate inverse sequences.

A new approach is presented for the computer simulation of sound propagation in an outdoor environment that is acoustically similar to a room. It comprises the advantage, that the computational complexity grows only slowly with an increasing number of source positions. This is important for modelling moving vehicles by a large number of consecutive source positions.

The basic idea of the new approach is to model the sound propagation by a continuous energy exchange within a network of predefined points located on individual plane surfaces that form the room. The calculation procedure is divided into two phases. In the first phase tables are generated to describe the energy exchange among all the fixed points of the network. The second phase introduces the acoustic input energy from the sources and initiates the energy exchange. It is possible to define any characteristic directivity pattern for the reflections at any wall surface by means of numerical tables. Diffraction effects are modelled by placing reference points on the respective edges. The simulation does need a considerable computer memory space. In the most general form, a PC with 4 MBytes of memory can handle a network of about 40 points. By restricting the reflection properties to a mixture of the two idealized forms 'mirror-like' and 'diffuse' it is possible to reduce the memory requirements. Several comparisons of results for the new simulation method with simulations and measurements reported in literature were carried out. They showed a good agreement. As a practical application, the influence of buildings along a straight road on the sound immission level increase with respect to free field conditions was examined for a selection of 256 different arrangements of houses and receiver positions.