



## Doctoral Thesis

# Source localization of acoustic emissions using multi-segment paths based on a heterogeneous velocity model in structural concrete

**Author(s):**

Gollob, Stephan

**Publication Date:**

2017

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010870031> →

**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 NO. 24146

**SOURCE LOCALIZATION OF ACOUSTIC EMISSIONS USING  
MULTI-SEGMENT PATHS BASED ON A HETEROGENEOUS  
VELOCITY MODEL IN STRUCTURAL CONCRETE**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

STEPHAN GOLLOB

Diplom-Ingenieur, Technical University of Vienna

born 12<sup>th</sup> April 1986

citizen of Austria

accepted on the recommendation of

Prof. Thomas Vogel (ETH Zurich, Examiner)

Prof. Dr. Thomas Schumacher (Portland State University, Co-examiner)

2017

# Abstract

In recent years, the preservation of existing structures has attained equal significance as the construction of new ones, and structural health assessment of existing structures is becoming ever more relevant. Hence, the employment and advancement of innovative ultrasonic testing methods such as acoustic emission (AE) analysis seem like logical steps. Acoustic emissions are caused by the release of strain energy due to deterioration processes or internal friction. The released energy causes the excitation of elastic waves radiating away from the source, which are recorded at the surface of the structure. Acoustic emissions are a passive phenomenon mostly associated with a destruction process. In structural engineering, concrete cracking and reinforcement rupture can be detected by analyzing AE events that occur during loading and unloading of a structure. Further progress of AE analysis, and in particular successful AE source localization, depends on how the wave propagation behavior is modeled and taken into account.

Air-filled cracks represent impenetrable barriers for elastic wave propagation in solids; waves have to bypass the crack. Nevertheless, waves can travel to every part of the specimen that can be reached without passing through air. The most common source location estimation methods assume straight wave propagation paths and a global wave velocity. Both assumptions are inaccurate for cracked reinforced concrete. If a wave bypasses a crack, it is not possible for the wave travel path to be straight. Moreover, the different constituents of reinforced concrete have different wave velocities, which also affects the wave travel paths.

Numerical modeling of elastic wave propagation has become a valuable tool if combined with physical tests. Models that can take into account the complex structure of concrete have been developed in recent years. Complex velocity models allow a realistic consideration of the influences of heterogeneous materials on the wave propagation path. Since computer capacity and processor speed are steadily increasing, the physical relation between acoustic emissions and elastic wave propagation can be treated numerically.

In order to develop a source localization algorithm, numerical wave propagation combined with fundamental wave propagation equations were used to investigate and visualize the wave propagation behavior in heterogeneous materials in general, and concrete and reinforced concrete in particular. A new source location estimation method, called *FastWay*, has been developed from the obtained findings, which uses multi-linear wave propagation paths and a heterogeneous velocity model. *FastWay* was evaluated using numerical simulations, a small-scale experiment, and a large-scale experiment.

# Kurzfassung

Heutzutage ist der Erhalt von bestehenden Tragwerken von gleicher Bedeutung wie die Erstellung neuer Strukturen. Aus diesem Grund wird auch die Zustandserfassung bestehender Tragwerke immer wichtiger. Es ist daher ein logischer Schritt, innovative Untersuchungsmethoden wie die Schallemissionsanalyse anzuwenden und auch weiterzuentwickeln. Schallemissionen treten bei der plötzlichen Freisetzung von Energie durch strukturelle Veränderungen wie z.B. Bruchprozessen auf. Die freigesetzte Energie breitet sich in Form von elastischen Wellen aus, die sich von der Quelle wegbewegen. Die von ihnen verursachten Teilchenbewegungen, also Verformungen, können von Sensoren aufgezeichnet werden. Schallemissionen sind daher ein passives Phänomen, welches meist im Zusammenhang mit zerstörenden Prozessen auftritt. Im Bauingenieurwesen kann die Schallemissionsanalyse dazu benützt werden, Prozesse wie das Reißen von Beton oder das Brechen von Bewehrung zu lokalisieren. Die Weiterentwicklung der Schallemissionsanalyse und insbesondere der Lokalisierungsgenauigkeit hängt stark von der Art der Berücksichtigung und Modellierung der Wellenausbreitung ab.

Die Luft in Rissen stellt ein undurchdringliches Hindernis für die elastische Wellenausbreitung in Festkörpern dar. Nichtsdestotrotz kann eine elastische Welle jeden Punkt in einem Versuchskörper erreichen, sofern eine feste Verbindung zwischen diesem und der Schallquelle besteht. Allerdings setzen alle gebräuchlichen Lokalisierungsmethoden einen geraden Wellenausbreitungspfad und eine konstante Wellenausbreitungsgeschwindigkeit voraus. Diese beiden Annahmen sind jedoch im Falle von gerissenem Stahlbeton nicht korrekt. Der Wellenpfad kann nicht gerade sein, wenn die Welle am Weg von der Quelle zum Sensor einen Riss umgehen muss. Weiters ist die Annahme einer globalen Geschwindigkeit im Falle von Stahlbeton, einer Kombination aus unterschiedlichen Materialien, eine grobe Vereinfachung. Die unterschiedlichen Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Materialien beeinflussen auch die Wellenfront.

Aufgrund der kontinuierlichen Steigerung der Rechengeschwindigkeit und Prozessorleistung von Computern ist es möglich, die Ausbreitung der von Schallemissionen verursachten elastischen Wellen numerisch abzuschätzen. Wenn ein heterogenes Geschwindigkeitsmodell als Grundlage für eine solche Wellenausbreitungssimulation dient, ist es möglich, auf diese Art und Weise den Einfluss von heterogenen Bestandteilen in einem Versuchskörper auf die Wellenausbreitung zu simulieren, zu untersuchen und zu visualisieren. Numerische Modelle von Beton und Stahlbeton stehen hierfür zu Verfügung. Daher sind numerische Wellenausbreitungssimulationen in Kombination mit physikalischen Tests gut dazu geeignet, verschiedene Einflüsse auf die Wellenausbreitung zu erkennen und zu verifizieren.

Die Wellenausbreitung in heterogenen Materialien allgemein und in Stahlbeton im Besonderen wurde mit Hilfe solcher Wellenausbreitungssimulationen in Kombination mit den grundlegenden Wellenausbreitungsgleichungen untersucht. Die Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Entwicklung einer neuen Lokalisierungsmethode, welche auf multilinearen Wellenpfaden basiert und ein heterogenes Geschwindigkeitsmodell als Input verarbeitet. Diese

neue Methode, genannt *FastWay*, wurde anschliessend mit Hilfe einer Vielzahl von Simulationen sowie je einem kleinmassstäbigen und einem grossmassstäbigen Experiment evaluiert.