

# Schallreflexionsmessungen zur Bestimmung von Raumtemperaturverteilungen

Armin Raabe, Manuela Barth, Marcus Bleisteiner, Frank Weiße

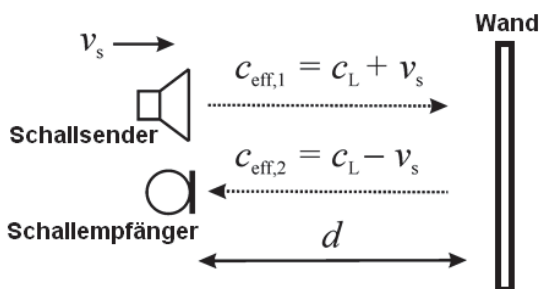
Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig, E-Mail: raabe@uni-leipzig.de

## Einleitung

Das Messverfahren analysiert die Laufzeiten von Schallsignalen, die in der Umgebung einer Schallquelle an Raumbegrenzungsflächen und Gegenständen reflektiert werden. Unter Vorgabe der Entfernung zwischen Schallquelle, Reflektor und Schallsensor wird jeder Strecke eine Laufzeit zugeordnet und in die akustische Temperatur umgerechnet. Aus der Kenntnis der verschiedenen Lagen der Schallreflektoren in der Umgebung einer Schallquelle lassen sich so von einem Punkt aus die Temperaturverteilung in einem Raum beobachten. Als Beispiel wird der Einsatz eines solchen Messsystems in einem Raum gezeigt, in dem durch Heizung/ Lüftung die Raumlufttemperatur verändert wird.

## Das Messprinzip

Die Möglichkeit aus den in einem Raum beobachteten Schallgeschwindigkeiten auf eine Temperaturverteilung im Raum zu schließen setzt die Kenntnis der Lagebeziehung zwischen Schallquelle, Schallempfänger und den Reflektoren für die Schallsignale in der Umgebung voraus. Die Abstände zwischen diesen Sende-, Empfangs- und Reflexionspunkten müssen bekannt sein (Abb. 1).



**Abbildung 1:** Das Messverfahren nutzt das Echolotprinzip. Bei bekanntem Reflektorabstand  $d$  (Wand) wird über die Zeit  $\tau$  zwischen Aussenden und Empfangen des Schallsignals die effektive Schallgeschwindigkeit  $c_{\text{eff}}$  ermittelt. Aus ihr wird die Laplacesche Schallgeschwindigkeit  $c_L$  bestimmt und diese in die akustische virtuelle Temperatur  $T_{a,\text{virt}}$  umgerechnet.

Befinden sich Sender und Empfänger nahe beieinander, dann fällt ein möglicher Einfluss einer Luftbewegung auf die Laplacesche Schallgeschwindigkeit weg

$$c_L = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{eff},1} + \frac{1}{2} \cdot c_{\text{eff},2} = \frac{1}{2} \cdot (c_L + v_s) + \frac{1}{2} \cdot (c_L - v_s)$$

und die Schallgeschwindigkeit kann einfach über die bekannten Abstände zu den Reflektoren  $d$  und die dazugehörigen Signallaufzeiten  $\tau$  ermittelt werden:

$$c_L = \frac{2 \cdot d}{\tau} \quad [m/s] \quad (1)$$

was auf die virtuelle akustische Temperatur führt:

$$T_{a,\text{virt}} = \frac{c_L^2}{402 \cdot m^2 \cdot s^{-2}} K \quad (2)$$

in der allerdings auch zu einem geringen Maße die Luftfeuchte (spezifische Feuchte  $q$ ) einen Einfluss hat.

$$T = \frac{T_{a,\text{virt}}}{1 + 0,51 \cdot q} \quad [K] \quad (3)$$

Der Einfluss von Luftfeuchteänderungen auf die Änderung der Schallgeschwindigkeit wird hier in erster Näherung gegenüber dem Einfluss der Lufttemperaturänderung vernachlässigt (vgl. [1], [2]). Auf diese Weise wird für eine identifizierte Schallstrecke eine streckengemittelte Lufttemperatur berechnet.

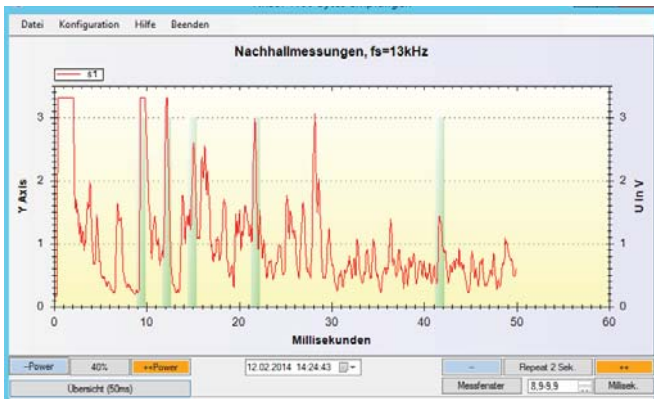
## Das Messsystem

Das Messsystem besteht aus einem Lautsprechersystem und einem Messmikrofon (Abb. 2). Der Lautsprecher sendet kurze Schallsignale aus (hier Sinus-Burst-Signale einer Dauer von 4ms mit einer Frequenz von 13kHz). Diese Signale werden am Mikrofon registriert und digital (Digitalisierung 200kHz) aufgezeichnet. Das Aussenden/Aufzeichnen des Schallsignals erfolgt 30-mal pro Minute.

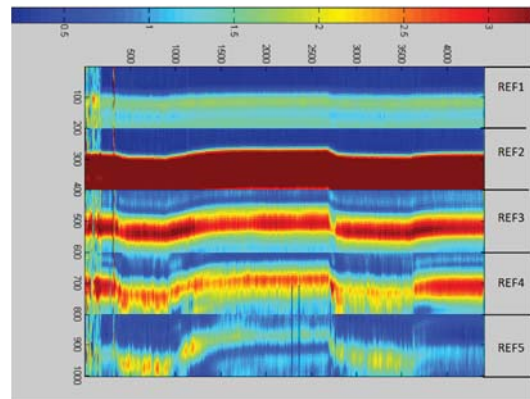
Das Messsystem wird im Raum an einer Stelle positioniert, an der es möglich ist, in dem aufgezeichneten Reflektogramm (Abb. 3) die identifizierbaren einzelnen Schallreflexe mit einem Schalllaufweg im Raum in Verbindung zu bringen (Abb. 4).



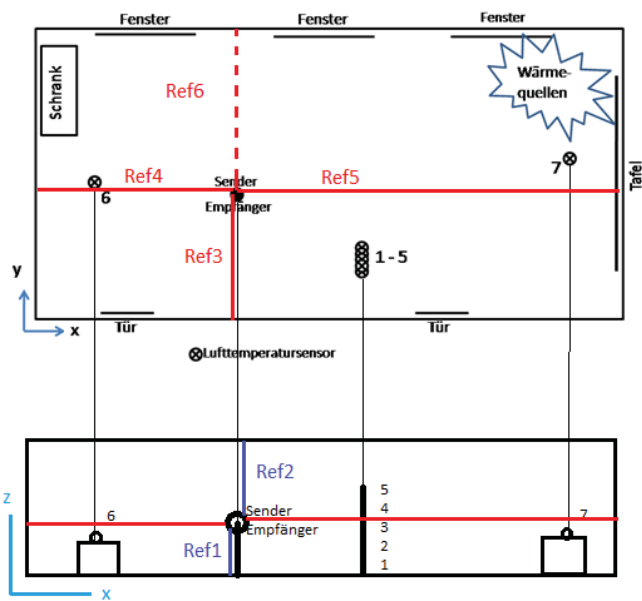
**Abbildung 2:** Schallsender bestehend aus 14 Lautsprechern, die auf einer Kugel (Durchmesser 10cm) angeordnet sind. Die Anordnung der Lautsprecher (14x0,5W) ermöglicht eine gleichzeitige und gleichmäßige Schallabstrahlung in alle Raumrichtungen. Mikrofon AVM MI17 1/4 Zoll Elektret Kondensator Mikrofon



**Abbildung 3:** Ein Beispiel für den aufgezeichneten Nachhall eines Schallsignals (Reflektogramm). Die in der Übersicht gekennzeichneten Teile des Nachhalls (grün hinterlegt) sind mit bestimmten Reflexionsflächen im Raum (s. Abb. 4, REF1 bis REF5) in Verbindung zu bringen.



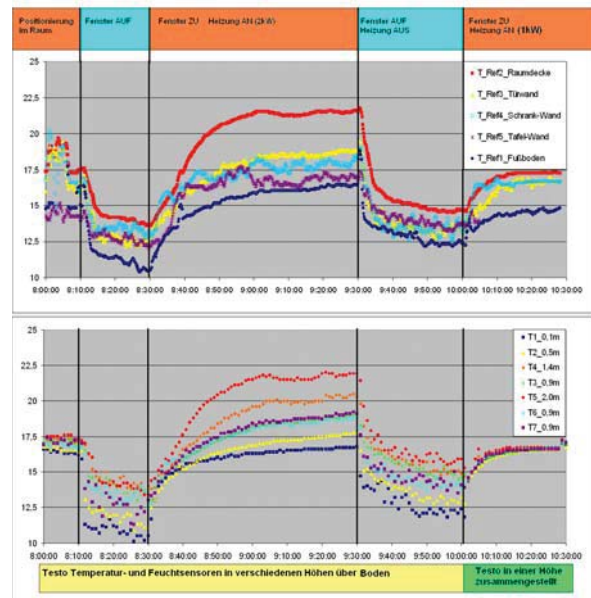
**Abbildung 5:** Die Aufzeichnung der in den ausgewählten Zeitfenstern (REF1 - REF 5) variablen Signalamplitude. Über eine Zeit von 2,5h (Abszisse) laufen 4500 Einzelmessungen auf. Der Temperatureinfluss verbirgt sich in der Verschiebung der Schallsignale in ihrem Empfangszeitpunkt am Mikrofon (Ordinate).



**Abbildung 4:** Die Positionierung des Sender-Empfängersystems in einem Raum in dem die hier gekennzeichneten Schallreflexionswege (REF1 bis REF6) identifiziert wurden. An den Positionen 1 – 7 befinden sich konventionelle Temperatur-Feuchtefühler (TF) für einen Vergleich mit den akustischen Messungen.

### Beobachtung eines Raumtemperaturfeldes

Die Leistungsfähigkeit des Messsystems wird beispielhaft anhand der Registrierung einer Lufttemperaturverteilung in einem Raum gezeigt, die durch Öffnen des Fensters nahe der Wärmequelle, bzw. Zuschalten und Abschalten der Wärmequelle verändert wird (Abb. 4). Die in einem Rhythmus von 2 Sekunden wiederholte Aufzeichnung der in Abb. 3 gekennzeichneten Zeitabschnitte im Nachhall eines ausgesendeten Schallsignals zeigt eine Variabilität im Empfangszeitpunkt am Mikrofon (Abb. 5). Je eher das Signal innerhalb des einmal festgelegten Zeitfensters registriert wird, desto höher war die Schallgeschwindigkeit, d.h. die Lufttemperatur ist während der Registrierzeit gestiegen (die Schallgeschwindigkeit ist erhöht).



**Abbildung 6:** Aufzeichnung einer in einem Raum sich verändernden Lufttemperatur (oben, T\_Ref1 .. T\_Ref5) nach Auswertung von Schallreflexionsstrecken REF1 –REF5 (s. Abb.4) im Vergleich zu der an verschiedenen Positionen mit den konventionellen TF-Sensoren (Testo) aufgezeichneten Raumlufttemperatur (T1 – T7).

### Ergebnis

Die veränderliche Struktur des Nachhalls eines Schallsignals wird hier auf Veränderungen im Raumtemperaturfeld zurückgeführt. Wenn es gelingt die Struktur des Nachhalls bestimmten Schallreflexionswegen zuzuordnen, dann erreicht dieses Messverfahren die Genauigkeit konventioneller Temperatursensoren.

**Der Vorteile besteht darin, dass es auf diese Weise möglich ist, von einem Punkt aus in einem Raum die Lufttemperatur in der Umgebung der Schallquelle aufzuzeichnen.**

### Literatur

[1] Barth, M., Raabe, A.: Ein modulares Messsystem zur Demonstration akustisch tomographischer Verfahren. DAGA 2014 diese CD