

Simulation und Messung des meteorologischen Einflusses auf die Schallausbreitung

Kati Balogh, Astrid Ziemann, Andreas Pittelkau

Institut für Meteorologie, Universität Leipzig, 04103 Leipzig, Deutschland, Email: balogh@uni-leipzig.de

Einleitung

Die Schallausbreitung im Freien wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Schallwellen erfahren beispielsweise infolge von Gradienten der Lufttemperatur und des Windvektors eine Änderung ihrer Richtung und Geschwindigkeit. Treffen Schallwellen auf den Boden, wird ein Teil ihrer Energie reflektiert und der andere Teil absorbiert/transmittiert. Vom Gesetzgeber anerkannte Modelle beschreiben diese Einflüsse gemäß von VDI 2714 [1] nur in Form von einfachen Parametern. Nach dieser Richtlinie ist das Boden-Meteorologiedämpfungsmaß immer positiv, das heißt lärmreduzierend. Unterschiede zwischen Messungen und Prognosen entstehen durch das Nichtbeachten vertikaler Wind- und Temperaturprofile [2]. Eine Möglichkeit, den meteorologischen Einfluss auf die Schallausbreitung in der Atmosphäre in die Schallimmissionsberechnungen besser einzubeziehen und dabei die Rechenzeit gering zu halten, besteht in einer geeigneten Klassifizierung der meteorologischen Bedingungen und deren Einbindung in ein Schallausbreitungsmodell.

SMART

Das Schallausbreitungsmodell SMART (Sound Propagation Model of the Atmosphere using Ray Tracing) basiert auf der Methode der geometrischen Akustik. Es erfolgt eine Schallstrahlenverfolgung in der x-z-Ebene für verschiedene horizontale Richtungen in einer bewegten geschichteten Atmosphäre. In einer abwärts refraktierenden Atmosphäre werden die Schallstrahlen am Erdboden reflektiert.

An die Schallstrahlensimulation schließt sich die Schalldruckpegeldämpfungsberechnung an. Die Stärke des Dämpfungspegels ist vom Querschnitt der Schallstrahlenröhre, welche durch benachbarte Schallstrahlen aufgespannt wird, in einem Referenzabstand und in einem anderen Abstand von der Schallquelle abhängig. Die Zusatzdämpfung durch den Bodeneinfluss wird nach der Theorie von Delany und Bazley [3] bestimmt.

Klassifizierung meteorologischer Bedingungen

Eine Klassifizierung der meteorologischen Bedingungen bietet die Möglichkeit, den Einfluss von Wind- und Temperaturgradienten auf die Schallausbreitung für alle Schichtungsverhältnisse der Atmosphäre zu bestimmen. Auf Sensitivitätsstudien basierend ergeben sich 7 Klassen für die Temperatur, 24 Klassen für die Windrichtung und 13 Klassen für die Windgeschwindigkeit. Eine geeignete Kombination der verschiedenen Klassen ergibt 1551 Profilklassen. Die Klassenzugehörigkeit eines meteorologischen Profils wird durch die vertikalen Gradienten im Wind- und Temperaturfeld in verschiedenen Höhenniveaus bestimmt. Für alle

Klassen erfolgt eine Berechnung der meteorologischen Zusatzdämpfung. Die Ergebnisse wurden in einer Datenbank abgelegt.

MetaVIS

Bei MetaVIS (**M**eteorological **a**ttenuation **v**isualisation) handelt es sich um ein Tool, welches direkt für den Anwender konzipiert wurde. Es greift auf die Datenbank mit den 1551 Dämpfungsverteilungen zu. Lange Rechenzeiten müssen aufgrund der Unabhängigkeit vom Schallausbreitungsmodell nicht in Kauf genommen werden. Meteorologische Vertikalprofile (Windvektor und Temperatur) eines bestimmten Zeitpunktes können automatisch eingelesen oder manuell hinzugefügt werden. Anhand der vertikalen Gradienten zwischen verschiedenen Höhenniveaus wird die Klassenzugehörigkeit bestimmt. Der Datenoutput, welcher aus den Dämpfungsverteilungen besteht, kann in tabellarischer Form oder in graphischer Form (s. Abbildung 1) ausgegeben werden.

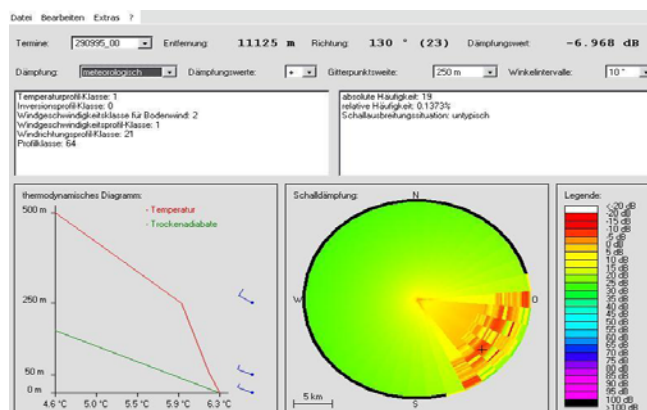


Abbildung 1: Hauptfenster der Programmoberfläche MetaVIS, links unten: graphische Darstellung der atmosphärischen Schichtungsverhältnisse (rot: Temperatur, blau: Wind), unten rechts: Zusatzdämpfung durch Boden (schallhart) und Meteorologie für ein Untersuchungsgebiet mit einem Radius von 15 km, wobei sich die Schallquelle im Mittelpunkt befindet (Rottöne: negative Dämpfung durch Boden und Atmosphäre, Lärmverstärkung)

In Abbildung 1 ist das Hauptfenster der Programmoberfläche dargestellt. In diesem Fall ist die Dämpfungskarte der meteorologischen Zusatzdämpfung. Negative Werte, das heißt Lärmverstärkungen werden in Rottönen dargestellt. Es ist möglich ein Gebiet mit der Cursorposition der Maus zu lokalisieren und nähere Informationen (Entfernung zur Schallquelle, Richtung, Dämpfungswert) zu erhalten. Diese können im oberen Teil des Programmfensters abgelesen werden. Im mittleren Teil sind Informationen und Statistiken über die Klassenzugehörigkeit zu finden.

Validierung der Ergebnisse

Zur Validierung der Modellergebnisse fand im Herbst 2004 eine Messkampagne statt. Das Messfeld in Melpitz kann als homogenes Grasland betrachtet werden. Während des Vergleichszeitraums war die Atmosphäre stabil geschichtet. Mehrere Mikrofone und Schallsender wurden im Untersuchungsgebiet mit der Ausdehnung von $500\text{m} \times 500\text{m}$ verteilt. Dadurch kann während Mit- und Gegenwindssituationen gemessen werden. Die Sendefrequenz betrug 1000 Hz .

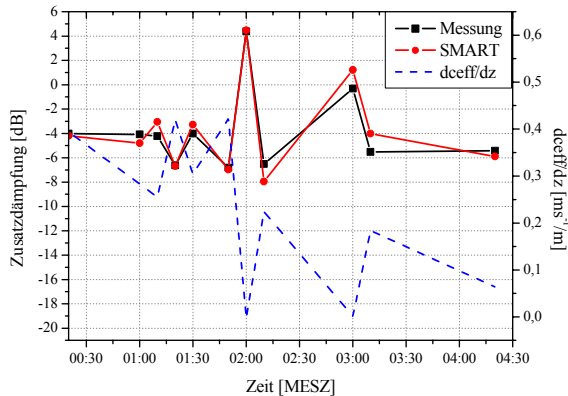


Abbildung 2: Vergleich modellierter und experimentell bestimmter Zusatzdämpfungen durch den Einfluss von Boden und Meteorologie (08.10.2004 zwischen 00:00 Uhr und 4:20 Uhr) für eine Schallausbreitungsrichtung in Gegenwindrichtung und einer Schallstrecke von 75 m mit dem vertikalen Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit (d_{ceff}/dz).

Die Messdaten eines meteorologischen Messmastes und Sodar/Rass-Daten wurden für die Erstellung von Vertikalprofilen der Temperatur und des Windvektors genutzt. Diese dienen als Modelleingangsdaten für die Schallausbreitungsmodellierung. Im Gegensatz zur bisher üblichen Anwendung des Modells für sehr große Untersuchungsgebiete [4] wurden räumlich höhere Auflösungen für die Simulationen gewählt. Das Resultat der Simulation ist die Zusatzdämpfung durch die Einflüsse von Boden und Atmosphäre, das heißt der Differenz zwischen Gesamtdämpfung und geometrischer Schallpegelabnahme.

In Abbildung 2 und 3 werden die Zusatzdämpfungen der Modellierung mit SMART und Messungen miteinander verglichen. Datenlücken beruhen auf fehlenden Wind- und Temperaturmessdaten. Da die Richtung und Stärke der Refraktion der Schallstrahlen vom Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit abhängig ist, wird dieser in den Vergleich einbezogen. Aufgrund der stabilen Schichtung während des Beobachtungszeitraums ist dieser Gradient meistens positiv (s. Abbildung 2). Nur in zwei Fällen stellt sich ein gering negativer vertikaler Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit ein. Die Schallstrahlen werden in diesem Fall vom Boden weg gebrochen. Zu allen anderen Zeitpunkten wirkt der Boden-Meteorologieeinfluss lärmverstärkend.

In der Mitwindrichtung (s. Abbildung 3) ist der vertikale Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit stets positiv.

Je größer dieser Wert ist, desto stärker wird die Lärmverstärkung.

In der Gegenwindrichtung zeigen sich zwischen Modellierung und experimentell bestimmten Daten bessere Übereinstimmungen als in der Mitwindrichtung. Die Ursachen hierfür können im Modell nicht beachtete Inhomogenitäten im horizontalen Ausbreitungsfeld und Überlagerungen von direkter und reflektierter Schallwelle sein.

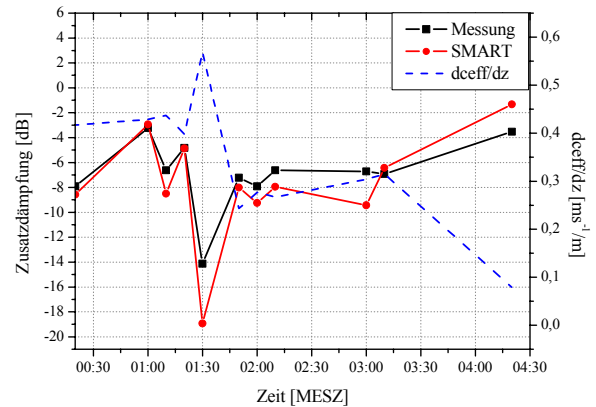


Abbildung 3: Gegenüberstellung modellierter und experimentell bestimmter Zusatzdämpfungen durch den Einfluss von Boden und Meteorologie (08.10.2004 zwischen 00:00 Uhr und 4:20 Uhr) für eine Schallausbreitungsrichtung in Mitwindrichtung und einer Schallstrecke von 75 m mit dem vertikalen Gradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit (d_{ceff}/dz).

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass mit dem Schallausbreitungsmodell SMART der Einfluss von Boden und Atmosphäre gut simuliert werden kann. Die stabile Temperaturschichtung führte im Vergleichszeitraum zu einer negativen (lärmverstärkenden) Boden-Meteorologiedämpfung. Dieses Ergebnis zeigt anhand der Messdaten und der simulierten Dämpfungen die Dringlichkeit, meteorologische Vertikalprofile in die Schallimmissionsprognose einzubeziehen, wofür sich die Klassifizierung meteorologischer Bedingungen eignet. Zukünftige Modellweiterentwicklungen und weitere Messungen (vor allem über größere Entfernungen), sollen zur Verbesserung der Schallimmissionsprognose mit SMART beitragen.

Literatur

- [1] VDI-2714: Schallausbreitung im Freien. VDI-Verlag, Düsseldorf, (1988), 18 S.
- [2] Kühner, D.: Schallausbreitung im klimatologischen Mittel. Fortschritte der Akustik DAGA'93, 299-308.
- [3] Delany, M.E. und Bazley, E.N.: Acoustical properties of fibrous absorbent materials, *Applied Acoustics* **3** (1970), 105-116.
- [4] Ziemann, A., Balogh, K.: Schallimmissionsprognose über einer schallharten Oberfläche, *Wiss. Mitt. Inst. für Meteorol. Univ. Leipzig*, **34** (2004), 59-70.