

Einfluss des variablen Atmosphärenzustands auf die Schallausbreitung von höher liegenden Schallquellen

Astrid Ziemann, Kati Balogh

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

Einleitung

Die Schallausbreitungsrechnungen für die Gewährleistung der Umweltverträglichkeit von höher liegenden Schallquellen (z.B. Windenergieanlagen) werden nach der DIN ISO 9613-2 [1] vorgenommen, deren Anwendbarkeit jedoch nur für eine bodennahe Schallausbreitung gesichert ist.

Für eine Schallausbreitung über Entfernungen von einigen hundert Metern und mehr gewinnt der Zustand der Atmosphäre an zunehmender Bedeutung. Der Effekt der Schallrefraktion wird dabei als besonders wichtig betrachtet, da er zu einer verstärkten Schallimmission gegenüber einer ungestörten Schallausbreitung führen kann. Es stellt sich daher die Frage, welchen Einfluss die in der atmosphärischen Grenzschicht unterschiedlichen Höhenabhängigkeiten von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Temperatur auf die Schallausbreitung hochliegender Quellen haben.

Schallausbreitungssimulation

Schallstrahlenmodell SMART

Für die Charakterisierung des Atmosphäreinflusses reicht es dabei nicht, mit Klima-Werten eine einzelne Schallausbreitungsrechnung durchzuführen. Vielmehr müssen verschiedene Atmosphärenzustände simuliert werden, um eine Aussage zum „Schallklima“ zu erhalten. Dazu wird das Schallstrahlenmodell SMART (Sound propagation model of the atmosphere using ray-tracing) mit einem Refraktionsgesetz speziell für bewegte, geschichtete Medien angewendet. Die geometrischen Parameter der Schallstrahlenverläufe werden zur Bestimmung der Dämpfung des Schallpegels unter Beachtung der gekoppelten Wirkung von Atmosphäre- und Bodeneinfluss genutzt [2].

Eingangsdaten für die Simulation - Messdaten

Eingangsdaten für SMART sind Vertikalprofile der Lufttemperatur und des Windvektors. Diese Daten wurden im Rahmen einer Studie [3] vom DWD am Meteorologischen Observatorium Lindenberg (MOL) für das Jahr 2003 (täglich 0 und 12 UTC) bereitgestellt. Die Qualitätsangaben zu den mit 2 Profilmasten und mit den Fernmessverfahren SODAR/RASS bestimmten Messwerten wurden bei der Erstellung der Eingabedaten berücksichtigt. Für die Modellsimulationen standen 250 Profile für den 0-Uhr-Termin und 307 Profile für den 12-Uhr-Termin bereit.

Eingangsdaten für die Simulation - Synthetische Daten

Um weiterhin die Schallausbreitungsbedingungen für eine Vielzahl möglicher meteorologischer Situationen zu berechnen, werden diese in verschiedene Klassen eingeteilt. Durch die geeignete Kombination von Temperatur-, Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsprofilen entstehen so

1551 Profilklassen [2]. Die Zuordnung zu realen Bedingungen an einem Ort kann durch eine Häufigkeitsverteilung der aufgetretenen Profilklassen vorgenommen werden.

Simulation der Zusatzdämpfung

Für die Modellsimulationen mit den Messdaten wurde eine Monopol-Schallquelle in einer Höhe von 140 Meter über Grund verwendet. Die Immissionshöhe wurde mit 5 m vorgegeben. Vergleichssimulationen wurden mit synthetischen Eingangsdaten auch für eine Schallquelle an der Erdoberfläche durchgeführt.

Der Bodeneinfluss (hier: Ackerboden) wird mit dem frequenzabhängigen Reflexionsgrad beschrieben. Zur Bestimmung der Bodenimpedanz wird das Modell von Delany und Bazley (1970) genutzt. Der Absorptionskoeffizient für die Luftabsorption wird nach der VDI 2714 berechnet [3]. Die Schalldämpfung wurde für Terzbänder mit den Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 3150 Hz für ein Untersuchungsgebiet mit einer horizontalen Ausdehnung von 2000 Meter um die Schallquelle bestimmt. Für die Berechnung der Zusatzdämpfung durch den Atmosphären- und Bodeneinfluss wurde eine Schallausbreitungssimulation mit einer unbewegten und ungeschichteten Atmosphäre durchgeführt. Die Zusatzdämpfung ergibt sich dann aus der Differenz zwischen den Dämpfungspegeln mit Atmosphärenschichtung und ohne Schallstrahlenrefraktion.

Ergebnisse

Simulationen mit Messdaten

Die Datenbank wurde bezüglich ihrer zeitlichen Variabilität untersucht (s. [3], Abb. 1).

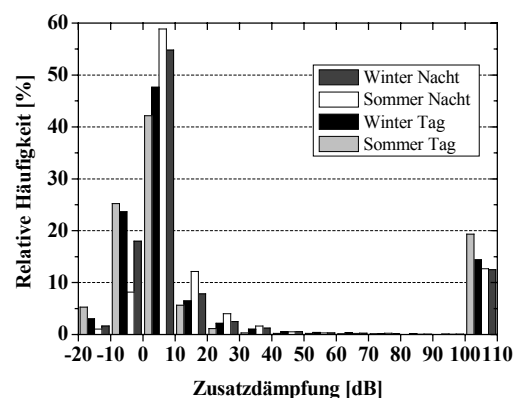


Abbildung 1: Relative Häufigkeit des Auftretens der Zusatzdämpfungen (1000 Hz) bedingt durch den Atmosphäre-Boden-Einfluss in der Nacht (00:00 UTC) und am Tag (12:00 UTC) für Lindenberg 2003. Der Untersuchungszeitraum beträgt jeweils 3 Monate (Winter: Dez., Jan., Feb.; Sommer: Jun., Jul., Aug.).

In der Winternacht entspricht die Häufigkeitsverteilung der Zusatzdämpfungen der Erwartung, d.h., es tritt eine große Anzahl negativer Zusatzdämpfungen (verstärkte Schallimmission) durch hochreichende Temperaturinversionen auf. Tagsüber hat die hoch liegende Schallquelle die Inversionsobergrenze häufig überschritten. Dies führt in der Gegenwindrichtung zu einer Verstärkung der vom Erdboden aufwärts gerichteten Brechung der Schallstrahlen und in der Mitwindrichtung zu einer Abschwächung der Abwärtsrefraktion. Deshalb treten hier negative Zusatzdämpfungen am seltensten auf.

Im Sommer tritt am Tag eine überraschend hohe Häufigkeiten von negativen Zusatzdämpfungen auf. Die Ursache hierfür liegt in den speziellen Wetterverhältnissen. In den Nächten kam es zur Ausbildung einer bodennahen Temperaturinversion, die am Tag als freie Inversion in höheren Atmosphärenschichten vorzufinden war. Dadurch wurden die Schallstrahlen in Richtung Erdoberfläche gebrochen, wo es zu einer verstärkten Schallimmission kam.

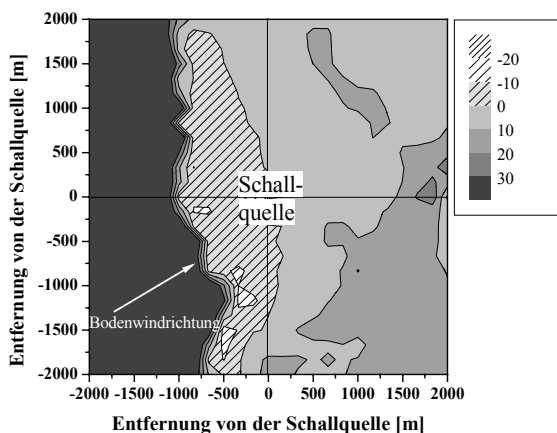


Abbildung 2: Zusatzdämpfung [dB] (1000 Hz) bedingt durch den gekoppelten Einfluss von Atmosphäre und Boden (Lindenberg 01.07.2003, 12:00 UTC). Negative Zusatzdämpfungen stehen für eine Verstärkung des Schallintensitätspegels im Vergleich zu einer ungestörten Schallausbreitung und positive Zusatzdämpfungen für eine verminderte Schallimmission.

Darüber hinaus existieren markante Unterschiede zwischen Mit- und Gegenwindrichtung (s. Abb. 2). Da die horizontal abgestrahlten Schallstrahlen von einer hohen Schallquelle einer Totalreflexion oberhalb des Immissionsniveaus in der Atmosphäre unterliegen, durchqueren hier nicht alle Schallstrahlen das Immissionsniveau. Dieser Effekt führt zu einer leicht positiven Zusatzdämpfung in der Mitwindrichtung. Die verstärkte Schallimmission in der Gegenwindrichtung lässt sich durch die Drängung der nach unten abgestrahlten Schallstrahlen in Quellnähe im Immissionsniveau begründen. Diese Schallstrahlen werden einmal an der Erdoberfläche reflektiert und dann vom Erdboden weg gebrochen. Der Übergang zum Schallschatten erstreckt sich daran anschließend nur über wenige hundert Meter.

Simulationen mit synthetischen Daten

Um die Ein-Jahres-Ergebnisse an der Station Lindenberg zu verallgemeinern, wurden die Simulationen mit den 1551 synthetischen Eingangsprofilen ausgewertet.

Für eine Schallquelle in größerer Höhe (140 m) treten im Vergleich zu einer Schallquelle am Erdboden deutlich häufiger negative Zusatzdämpfungen auf (in über 40% gegenüber ca. 5% der Fälle).

Größere Unterschiede zwischen den verschiedenen Simulationen werden auch sichtbar, wenn die Häufigkeit des Auftretens einer negativen Zusatzdämpfung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Schallquelle untersucht wird (s. Abb. 3). Bis auf den Nahbereich treten in allen Entfernungen verstärkte Schallimmissionen bei der hohen Schallquelle häufiger auf als bei der Schallquelle am Erdboden. Eine Ursache dafür liegt darin, dass Schallstrahlen, die nach unten abgestrahlt werden, das Immissionsniveau in der Gegenwindrichtung auf Grund der hohen Schallquelle früher und in einer dichteren Verteilung durchlaufen.

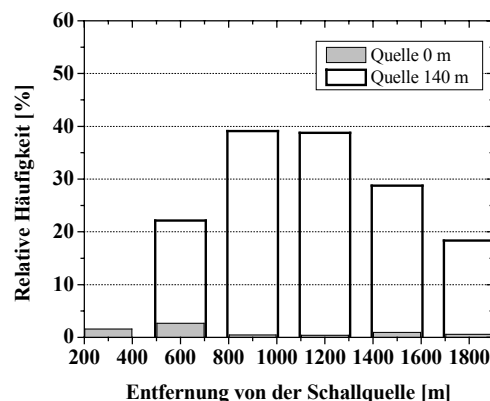


Abbildung 3: Relative Häufigkeit des Auftretens von Zusatzdämpfungen <-1 dB für synthetische Profilklassen und Schallquellen in 140 m Höhe bzw. am Erdboden (1000 Hz).

Ausblick

Um allgemeingültigere Aussagen treffen zu können, sind Daten mehrerer Jahre zu betrachten. Eine Mittelung der Dämpfungspegel über die Jahreszeiten würde dann eher einem schallklimatologischen Wert entsprechen. Mit einer regionalisierten Untersuchung sollten außerdem räumlich repräsentative Dämpfungsdatenbanken für verschiedene Standorte erstellt werden, da markante regionale Unterschiede in den meteorologischen Eingangsdaten bestehen.

Die aufgezeigten Unterschiede zwischen einer Schallausbreitung von einer bodennahen Schallquelle und einer hohen Schallquelle (hier 140 Meter) sollten im Rahmen einer Modellevaluierung mit geeigneten Messdaten näher untersucht werden.

Literatur

- [1] DIN ISO 9613-2, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Beuth-Verlag, 1999
- [2] Ziemann, A., Auswirkungen unterschiedlicher Schallausbreitungsmodelle auf die Lärmprognose, Wiss. Mitt. Inst. für Meteorol. Univ. Leipzig **30** (2003), 61-72
- [3] Ziemann, A. und Balogh, K., Studie zum Einfluss hoher Schallquellen auf die Schallausbreitung, Werkvertrag 81/05 Nr. 52096, LUA NRW Essen, Abschlussbericht, 2005