

Vergleich von technischen Prognoseprogrammen für die Schallimmission mit physikalischen Berechnungen der Schallausbreitung im Freie

Rainer Matuschek, *itap-GmbH, Oldenburg, matuschek@itap.de*

Volker Mellert, *Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg, volker.mellert@uni-oldenburg.de*

Einleitung

Zur Zeit gibt es eine Reihe verschiedener Richtlinien und Normen auf internationaler und europäischer Ebene zur Berechnung der Schallausbreitung im Freien. Zwar sind wichtige nationale Entwürfe in die internationale Norm ISO 9613 eingeflossen, doch werden dem Nutzer in Widerspiegelung verschiedener nationaler Herangehensweisen auch verschiedene Wege zur Berechnung von Lärmimmissionen offen gelassen. Aus dem Wunsch heraus, eine einheitliche europäische Richtlinie zu schaffen und in dem Wissen, dass sich die Schallwellen überall nach denselben physikalischen Gesetzmäßigkeiten ausbreiten, arbeitet das Konsortium „Harmonoise“¹ daran, nicht nur ein allgemeines Prognoseverfahren zu entwerfen sondern in diesem auch möglichst viele physikalische Umgebungsbedingungen (Meteorologie, Bodenimpedanz etc.) wirklichkeitsnah zu modellieren. Über Ergebnisse dieses Projekts wurde auf der DAGA 2003 in Aachen vorgetragen². Im Rahmen eines Unterauftrags durch ein Mitglied des Konsortiums wurde von uns untersucht, inwieweit sich die wichtigsten europäischen Richtlinien zur Berechnung der Schallausbreitung systematisch unterscheiden und ob diese bei angepasst gleichen Randbedingungen dieselben Ergebnisse liefern³. Darüber hinaus wurden die Richtlinien mit numerischen Berechnungen verglichen, die auf definierten Randbedingungen beruhen und deren Ergebnisse als gesichert gelten können.

Richtlinien

Es wurden zwei professionelle Programmpakete zur Berechnung der Schallausbreitung nach den einschlägigen Richtlinien benutzt: IMMI 5.0 (Wölfel) und Cadna (DataKustik GmbH). Beide Softwarepakete haben alle fraglichen Richtlinien implementiert, beide lieferten für die hier untersuchten Bedingungen dieselben Ergebnisse. Das Problem im Vergleich der verschiedenen Richtlinien liegt in der Anpassung der verschiedenen Randbedingungen. Als Quelle wurde eine ebene, gerade Straße zugrunde gelegt, die mit einem für alle Richtlinien gleichen Verkehr in vergleichbarer Zusammensetzung mit gleicher Quellenhöhe und Schallleistung abstrahlt. Die Ausbreitung des Schalls erfolgt definitionsgemäß unter begünstigender meteorologischer Bedingung („Mitwind“), wobei die atmosphärische Dämpfung für 10 °C, 70% Luftfeuchtigkeit und 101.3 kPa Druck gemäß ISO 9613 auch für die numerische Berechnung herangezogen wurde.

Numerische Berechnung

Benchmark

Als numerisches Programm wurde der „Fast Field Algorithmus“ (FFP) von Attenborough et al. herangezogen. Zunächst wurde das Programm mit dem veröffentlichten Benchmark verglichen⁴, in dem die Schallausbreitung im Freien von einer Punktquelle unter den Bedingungen eines konstanten Schallgeschwindigkeitsgradienten berechnet wurde. Die Übereinstimmung war ausgezeichnet, so dass nun die Bezugsbedingung der Richtlinien in das Programm implementiert werden konnten.

Linienquelle

Das FFP-Programm ist für eine Punkt- bzw. (endliche) Zylinderquelle konzipiert. Die Wellenausbreitung erfolgt in Schichten senkrecht zur Zylinderachse. Es wird also eine homogene Schichtung der Ausbreitungsbedingungen vorausgesetzt, in Richtung der Wellenausbreitung in einer Schicht dürfen sich die Ausbreitungsbedingungen nicht ändern. Zum Vergleich mit den Richtlinien ist es daher erforderlich, die Linienquelle „Straße“ in einzelne Segmente zu unterteilen. Diese wurden in ihrer Länge so gewählt, dass jeweils gleiche horizontale Sichtwinkel zur Immission am Empfängerpunkt beitragen. Eine hinreichende Auflösung ist mit einem Winkel von 5° gegeben. Die FFP-Berechnung erfolgt dann für jedes Raumsegment einzeln, die Beiträge werden am Immissionspunkt inkohärent aufaddiert. Wird ein meteorologisches Profil in die Schichtung eingeführt, muss für jedes Segment separat das effektive Schallgeschwindigkeitsprofil in die Berechnung einfließen.

Spektrum

Der FFP-Algorithmus berechnet die Wellenausbreitung jeweils für eine Frequenz. Um eine Aussage über ein breitbandiges Spektrum zu erzielen, sollte die Berechnung für mehrere Spektrallinien erfolgen und das Ergebnis dann kohärent aufaddiert werden. In der Praxis hat sich gezeigt, dass drei Frequenzen pro Terz bereits eine hinreichende Mittelung erlauben. Die Interferenzeinbrüche sind innerhalb der Terz durchaus noch erkennbar, aber nur bei schallhartem Boden deutlich. Die räumliche Mittelung über die Linienquelle gleicht die Interferenzeinbrüche noch weiter aus. Zum Vergleich mit den Richtlinien der numerischen Berechnung ist ein Verkehrslärmspektrum zugrunde zu legen. In den Richtlinien selbst wird über die spektrale Zusammensetzung der Schallquelle „fließender Verkehr“ wenig gesagt. Es wurden daher folgende Spektren zur numerischen Berechnung herangezogen: Oktavspektren in 30 m Entfernung gemäß Guide de Bruit aus NMPB-Route), Terz- und Oktavspektren aus DIN-EN-1793-3 und RVS-3.02, die sich nach Abb. 1 als sehr ähnlich herausstellten.

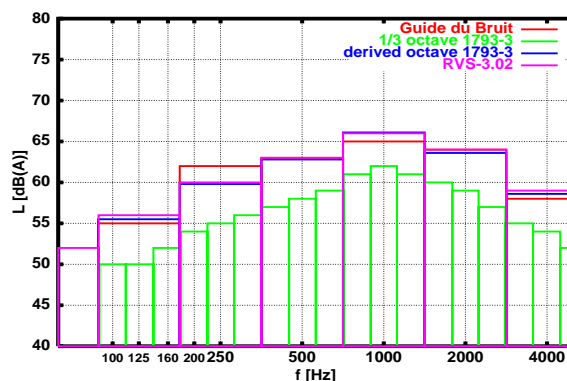


Abb. 1: Terz- und Oktavspektren von Straßenverkehrslärm

¹ www.harmonoise.org

² z.B.: F. de Roo, E. Salomons: Harmonoise — Sound propagation reference model, DAGA '03

³ Die Untersuchung wurde teilweise durch die Europäische Kommission, Joint Research Center, ISPRA gefördert

⁴ Attenborough et al.: Benchmark cases for outdoor sound propagation. JASA 97(1), 173-191, 1995

Meteorologie

Die obligate Mitwindbedingung der Richtlinien kann auf vielfältige Weise realisiert werden. Mit Hilfe der Monin-Obukhov-Grenzschichttheorie wurden realistische meteorologische Mitwindbedingungen berechnet, die in Abb. 2 in ihrem effektiven Schallgeschwindigkeitsprofil dargestellt sind.

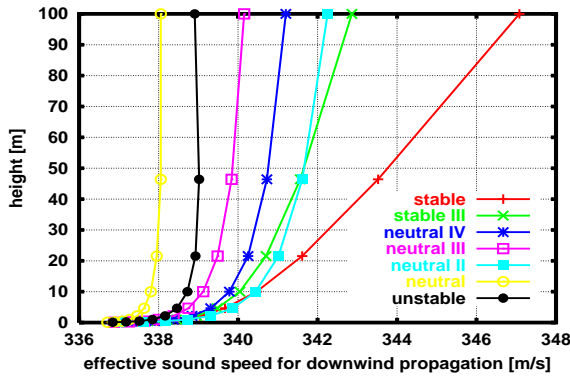


Abb. 2: Effektive Schallgeschwindigkeitsprofile bei Mitwind.

Wie die Berechnung der Schallausbreitung über Grasboden in Abb. 3 zeigt, sind tatsächlich die Unterschiede zwischen den

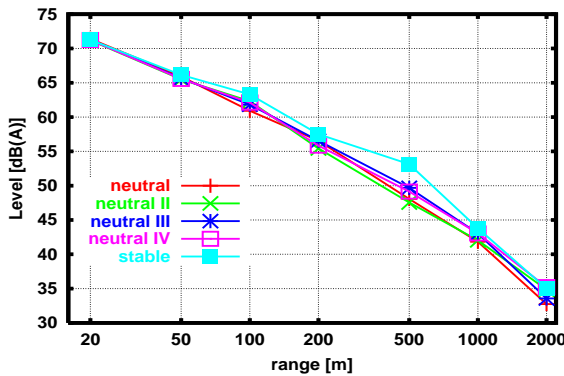


Abb. 3: Pegelabnahme als Funktion der Entfernung zur Straße für neutrale und stabile Profile unter Mitwindbedingungen.

Bedingungen der Abb. 2 sehr gering — eine gute Rechtfertigung für die pauschale Annahme der „begünstigenden Mitwindbedingung“, zumindest für die Linienquelle Straße in einer Ebene mit homogener Schichtung des Schallgeschwindigkeitsprofils!

Bodenimpedanz, Wind und Temperatur

Abb. 4 zeigt den Einfluss der Bodenimpedanz. Wie zu erwarten ist die Zusatzdämpfung bei schallweichem Boden deutlich höher.

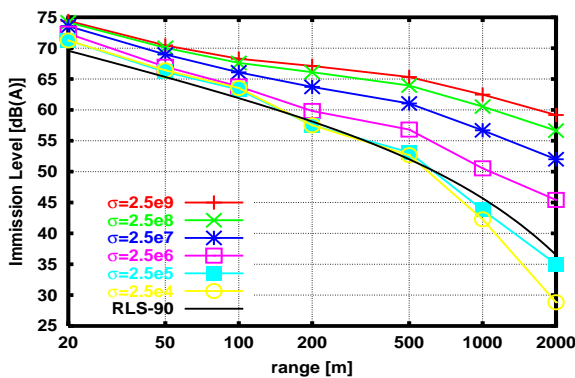


Abb. 4: Pegelabnahme in Abhängigkeit von der Entfernung zur Straße. Parameter ist der Strömungswiderstand σ .

Dagegen ist extrem schallharter Boden über die angegebenen Entfernung eher praxisfremd und spiegelt sich auch in den Richtlinien nicht wider. Die unterschiedlichen Einflüsse von Wind und Temperatur sind Abb. 5 zu entnehmen.

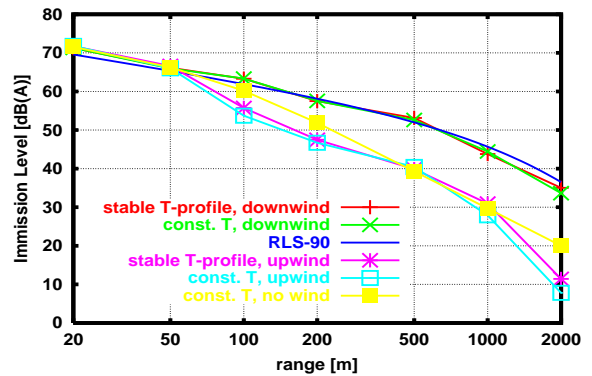


Abb. 5: Einfluss des Wind- und Temperaturprofils auf die Pegelabnahme.

Dabei sind Wind- und Temperaturprofil wieder über die Grenzschichttheorie gekoppelt, der Boden ist als Wiese angenommen. Offensichtlich dominiert der Einfluss vom Wind, dagegen ist das Temperaturprofil eher vernachlässigbar. Die Gegenwindbedingung schwächt erwartungsgemäß die Schallausbreitung, die Mitwindbedingung bestätigt dagegen die empirische Formel gemäß RLS-90 hervorragend.

Zusammenfassung

Abb. 6 fasst die Ausbreitungsrechnung nach den angegebenen Richtlinien zusammen und vergleicht diese mit der FFP-Berechnung unter Mitwindbedingung und mittelhartem Boden (Wiese).

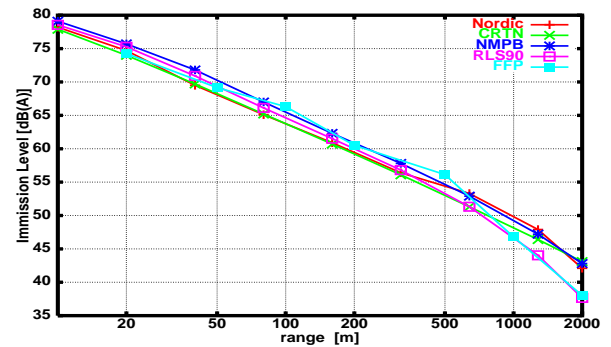


Abb. 6: Vergleich der Prognosen der wichtigsten europäischen Verkehrslärmrichtlinien mit den Ergebnissen der FFP-Rechnung.

Die Übereinstimmung ist verblüffend. Insbesondere wird die RLS-90 über sehr große Entfernung voll durch die numerische Ausbreitungsrechnung bestätigt. Das Ergebnis Abb. 6 zeigt, dass für die homogen geschichtete Atmosphäre unter Mitwindbedingung und ebenem Boden mittlerer Impedanz kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausbreitungsrichtlinien bestehen, die ihrerseits durch die numerische Simulation voll bestätigt werden. Selbstverständlich erlaubt die numerische Simulation eine größere Variation der Parameter der Ausbreitungsbedingungen im Vergleich zu den herkömmlichen Richtlinien. So kann etwa für einen vorgegebenen Standort die Statistik der Witterungsbedingungen und Bodenimpedanzen eingegeben werden, um die Varianz des Immissionspegels vorherzusagen, die standardisierte Mitwindbedingung gibt aber offenbar eine zutreffende obere Abschätzung für diesen ab.