

Alte und neue Ansätze zur Beschreibung der Schallausbreitung im Freien

Ulrich J. Kurze

Müller-BBM GmbH, 82152 Planegg; Email: UKurze@MuellerBBM.de

Zielsetzungen

Aus der Laufzeit des Mündungsknalls von feindlichen Kanonen wird deren Standort bestimmt, um das Feuer entsprechend zu erwidern [1]. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls, über die sich Newton noch aufgrund der Annahme isothermer Zustandsänderungen in einer Schallwelle wesentlich irrte, ist dafür von hauptsächlichem Interesse. Für den Umweltschutz ist die Dämpfung während der Schallausbreitung von größter Bedeutung. Sie hängt wesentlich vom vertikalen Gradienten der Schallgeschwindigkeit und damit ebenfalls von meteorologischen Parametern ab und unterliegt in größeren Abständen erheblichen Schwankungen. Von der Zielsetzung der Umgebungslärm-Richtlinie [2] her interessiert allerdings nur ein tageszeitlich gewichteter Langzeit-Mittelwert. Darüber hinaus interessiert aber auch die Stärke der Schallimmission, die über die Ausbreitungsdämpfung aus der Emission zu berechnen ist. Die Emission wird aus Messungen in der näheren Umgebung der Geräuschquelle bestimmt. Deshalb besteht an der Schallausbreitung in der Nähe von Schallquellen des Luft-, Straßen- und Schienenverkehrs und auch von stationären Anlagen erhebliches Interesse. Im Harmonoise-Projekt der EU sind Ingenieure und Wissenschaftler zusammen gekommen, um einheitliche europäische Beschreibungen der Ausbreitungsdämpfung von Schall im Freien zu erarbeiten. Das Ziel ist ein Ingenieurmodell für die Umsetzung der Umgebungslärm-Richtlinie. Das Ingenieurmodell soll über ein wissenschaftliches Modell gestützt und durch Messungen validiert werden.

Grundlagen

Schall nimmt in erster Linie mit dem Abstand von der Quelle und mit der Abschirmung durch Hindernisse im Ausbreitungsweg ab. Hinzu kommen Interferenzen in Bodennähe, die sich vorwiegend bei streifendem Einfall im mittleren Frequenzbereich um 200 Hz bis 600 Hz auswirken, und die Luftabsorption, die bei höheren Frequenzen wichtig ist. Bei der Formulierung der Richtlinie VDI 2714, die weitgehend in die Norm ISO 9613-2 eingebracht wurde, ging man von folgenden Annahmen aus:

- Für die geometrische Divergenz kann die Änderung der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe in Mitwindrichtung oder bei Inversionswetterlage vernachlässigt werden (ausgenommen über Wasserflächen).
- Dämpfung durch Beugung an Hindernissen kann durch den Umweg berücksichtigt werden, den der Schall im Vergleich mit dem Direktweg durchläuft. Die Änderung der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe in Mitwindrichtung oder bei Inversionswetterlage kann näherungsweise berücksichtigt werden.
- Die Betrachtung von Immissionsorten in mindestens 4 m Höhe über Grund beschränkt den Einfluss bodennaher Interferenzen und beinhaltet damit eine Planungssicherheit für den Immissionsschutz. Die Wirkung bodennaher Hindernisse wird derjenigen von bodennahen Interferenzen, die mit Pegelminderungen bis zu 5 dB auftreten, gleich gesetzt und alternativ berücksichtigt. (Oft wird die Frage gestellt, ob diese Annahme auch in größerem Abstand von Hindernissen zutrifft oder die Wirkungen sich dort nicht doch addieren.)

- Es genügt die Annahme einer mittleren Luftabsorption in Oktavbändern, die z.B. zu einer bestimmten Luftfeuchte und -temperatur gehört.
- Weitere Ausbreitungsdämpfungen infolge von Bewuchs, aber auch von Schnee, Gegenwind, Sonneneinstrahlung, turbulenter Atmosphäre u.a. werden nicht gesondert berücksichtigt.

Zur Reduzierung des Schutzanspruchs der Nachbarschaft wurde bereits frühzeitig in die VDI 2714 das Konzept des Langzeit-Mittelungspegels mit einem Abschlag von etwa 2 dB vom Mitwind-Mittelungspegel eingeführt. In ISO 9613-2 fand ein ähnlicher Abschlag mit der Korrekturgröße C_{met} seinen Eingang, die nun an lokale Verhältnisse angepasst werden kann.

Unsicherheiten der Prognose

Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung sind mit Unsicherheiten behaftet. Hier sei von solchen Unsicherheiten abgesehen, die sich aus unklaren oder alternativen Rechenvorschriften ergeben. Grundsätzlich sind jedoch zwei Fehlereinflüsse wirksam:

- Fehler ΔL_W der Quellpegel, z.B. durch unzutreffende Annahmen über mittlere Verkehrsmengen und deren Verteilung auf unterschiedliche Fahrzeugarten und Tageszeiten, Fahrflächenzustände, Betriebszustände der Geräuschquellen u.a. und
- Fehler ΔL_D der Ausbreitungsdämpfung, insbesondere durch unzutreffende Annahmen über mittlere Einflüsse des Bodens und der Meteorologie.

Entlang einer Übertragungskette gilt das Fehlerfortpflanzungsgesetz. Die Pegeldifferenzen addieren sich. Wirken auf ein Ergebnis statistisch unabhängig mehrere fehlerbehaftete Größen ein, so ergibt sich die resultierende Varianz aus den energetisch gewichteten Varianzen der einzelnen Beiträge. Nach der Umgebungslärm-Richtlinie kommt den Beiträgen aus den Nachtstunden im Vergleich mit Tagwerten 10-faches Gewicht zu. Zugleich werden Verkehrsmengen der Nachtstunden häufig nur vereinfachend aus Tagwerten umgerechnet. Fahrflächen unterliegen laufenden Änderungen durch Abnutzung und Verschmutzung. Industrieanlagen werden konjunkturabhängig unterschiedlich genutzt. Daraus resultieren Fehler der Quellpegel, die mit einer Standardunsicherheit von mindestens 2 dB abzuschätzen sind.

Die Ausbreitungsdämpfung ändert sich lokal sehr stark am Rande von Schallschattenzonen, die durch Hindernisse oder meteorologische Bedingungen bestimmt werden. Sie unterscheidet sich abstandsabhängig insbesondere zwischen Wetterlagen, die mit Inversion und Mitwind die Schallausbreitung begünstigen oder mit Sonneneinstrahlung und Gegenwind zur Ausbildung von Schattenzonen führen. Berechnet man nach ISO 9613-2 allein die Mitwind-situation und berücksichtigt die tatsächliche Verteilung der Ausbreitungssituationen über die Windstatistik, so ist für den Langzeitmittelungspegel an freien Immissionsorten in 4 m Höhe über Grund im Abstandsbereich bis zu etwa 1000 m, für den die meisten Erfahrungswerte vorliegen, ein Fehler der Ausbreitungsdämpfung abzuschätzen, der zu einer Standardunsicherheit von höchstens 2 dB gehört.

Die Relation der Fehlereinflüsse von Quellen und Ausbreitungsdämpfungen weist scheinbar auf eine mit dem Abstand zunehmende Bedeutung der Ausbreitungsdämpfung hin. Das gilt jedoch nur für heraus ragende Quellen, wie z.B. großkalibrige Waffen. Der durch Straßenverkehr bestimmte Langzeitpegel wird in großen Abständen von Autobahnen vielfach durch statistisch kaum erfassten Anliegerverkehr verursacht, auf den sich Unsicherheiten über die Ausbreitungsdämpfung kaum auswirken.

Allerdings besteht in der Planungspraxis Bedarf an zuverlässigen Modellen auch für Abstandsbereiche und Ausbreitungssituationen, die von ISO 9613-2 derzeit nicht abgedeckt werden. Hier richten sich Erwartungen an Harmonoise.

Unsicherheiten verbesserter theoretischer Modelle

Im Projekt Harmonoise werden Geräuschquellen des Straßen- und Schienenverkehrs und Ausbreitungsbedingungen behandelt. Das Ergebnis muss in engem Bezug zur Praxis stehen, indem es die Wirklichkeit hinreichend genau abbildet und dazu Modellparameter verwendet, die bei der Planung verfügbar sind. Mit Interesse wird zu verfolgen sein, welches Gewicht der weiteren Präzisierung verfügbarer Information und der Abschätzung nicht verfügbarer Information gegeben wird.

Zur verfügbaren Information gehört in der Regel

- eine obere Schranke für die Verkehrsmenge, jedoch ohne schalltechnische Detaillierung nach Fahrzeugart und Verkehrszeiten,
- die zulässige Geschwindigkeit, aber nicht die tatsächliche mittlere Geschwindigkeit,
- die Art der Fahrbahnfläche und deren mittlerer Zustand, jedoch weniger die der Radlaufflächen,
- die Höhe von Schallschutzwänden und -wällen, jedoch keine Details der horizontalen Gliederung und Bepflanzung,
- Abstände zwischen Verkehrsweg und benachbarten Immissionsorten, aber nur grobe Klassifizierungen des Bodens,
- die Windstatistik der Region, aber keine lokale Statistik von Inversionswetterlagen und deren tageszeitlicher Verteilung und
- möglicherweise die mittlere Luftfeuchte und Temperatur sowie deren Tages- und Jahresgang in der Region, aber keine Angaben für bodennahe Luftschichten über einzelnen bebauten und unbebauten Flächen.

Zweifellos ist die Aufteilung der Fahrgeräusche auf Roll-, Antriebs- und aerodynamische Geräusche von großer Bedeutung für die Auslegung von Schallschutzmaßnahmen. Doch enthält der Ansatz, mit dem aus einer Gesamtmessung unter speziellen Randbedingungen diese Aufteilung gelegentlich abgeleitet worden ist, bereits Unsicherheiten. Sie bestimmen die Eingangsdaten der Ausbreitungsrechnung mit Lage, Stärke und Richtwirkung idealisierter Einzelschallquellen [3]. Will man darüber hinaus noch Phasenbeziehungen zwischen einzelnen Quellen, z.B. den Rädern eines Radsatzes von Schienenfahrzeugen, und die Störung der Korrelation durch Strömungsvorgänge berücksichtigen, so ergibt sich eine sehr umfangreiche rechentechnische Aufgabe, die sicher im Vorhinein am zu erwartenden Genauigkeitszuwachs zu prüfen ist [4].

Ohne entsprechende Berücksichtigung von Einzelheiten verlöre das im Rahmen von Harmonoise angestrebte Ziel eines Referenzmo-

dells zur Schallausbreitung seinen Sinn, das unter voller Ausnutzung moderner Rechenkapazitäten geplant ist [5]. Vorstellbar ist die Anwendung eines solchen Modells auf ein breites Spektrum von Parametern des Bodens – mit Berücksichtigung von Leitplanken an Autobahnen, Entwässerungsgräben an Bahnstrecken, angrenzenden Feldern in jahreszeitlich unterschiedlichem Zustand – sowie von diskreten Witterungsverhältnissen mit Temperatur-, Wind- und Feuchteprofilen [6, 7, 8]. Aus der Felderfahrung heraus sind große Streuungen der Ergebnisse zu erwarten, von denen aber für die Umgebungslärm-Richtlinie nur der Langzeitmittelwert interessiert. Um den hinreichend genau zu bestimmen, bedarf es allerdings der zusätzlichen Information über die Häufigkeitsverteilung der Parameter. Hierzu sind bereits Grenzen der Verfügbarkeit erkannt. Deshalb ist das Referenzmodell nicht allgemein sondern nur zur Kalibrierung eines Ingenieurmodells geplant, sollte aber dafür mit Angaben zur Unsicherheit bei Parametervariation versehen werden.

Unsicherheiten der messtechnischen Validierung

Dem Zuwachs an Rechnerkapazität, der heute numerische Lösungen der Wellengleichung unter Randbedingungen und für Verteilungen der lokalen Schallgeschwindigkeit erlaubt, die früher nicht oder nur näherungsweise geschlossen möglich waren, entspricht in der Messtechnik die zunehmende Verfügbarkeit automatischer Messstationen, mit denen kontinuierlich und detailliert in Frequenzbändern Schallvorgänge aufgezeichnet werden können. Benötigt wird natürlich weiterhin die Beschreibung der Schallquellen und der Ausbreitungsbedingungen. Sie gelingt teilweise durch zusätzliche Messung meteorologischer Größen. Aber schon die Anzahl und Verteilung von Fahrzeugen auf einer Straße oder die Länge und Zusammensetzung von Zügen ist in der Regel ohne Beobachtung nicht bestimmbar. Mit Interesse wird zu verfolgen sein, welche Möglichkeiten im Rahmen des Harmonoise-Projekts genutzt werden und welche Unsicherheiten zu verschiedenen Annahmen abgeschätzt werden.

Aussicht auf eine Validierung besteht für das Referenzmodell, sofern sehr einfache Messbeispiele herangezogen werden, deren Parameter einzeln kontrolliert und variiert werden können, z.B. die Vorbeifahrt eines Testanhängers auf einer Versuchsstrecke, für die standardisierte Messvorschriften vorliegen. Für komplexere Aufgaben, wie z.B. die Schallausbreitung über große Entfernungen, erscheinen – mangels gesicherter atmosphärischer Messwerte – die Möglichkeiten der Validierung des Referenzmodells und damit der Kalibrierung des Ingenieurmodells begrenzt.

Ausblick

Größte Erwartungen sind deshalb an das Ingenieurmodell zu richten und auf die Möglichkeit eines Abgleichs mit bestehenden Erfahrungen, die insbesondere in ISO 9613-2 eingeflossen sind.

Referenzen

- [1] B.G. Ferguson et al., J. Acoust. Soc. Am. 111 (1), 2002 104 – 116
- [2] Umgebungslärm-Richtlinie 2002/49/EG
- [3] C.C. Charlet et al., Euronoise 2003, paper ID : 528
- [4] O.v. Estorff, Acta Acustica united with Acustica 89 (2003), 1 – 13
- [5] B. Gauvreau et al., J. Acoust. Soc. Am. 112 (6) 2002 2680 – 2687
- [6] L.R. Hole et al., Applied Acoustics 64 (2003) 401 – 414.
- [7] D.K. Wilson, J. Acoust. Soc. Am. 113 (2), 2003 750 – 757
- [8] R. Blumrich et al., J. Acoust. Soc. Am. 112 (2) 2002 446 - 455