

Über einen Versuch zur Berücksichtigung der Geländeschirmung in Schallausbreitungsmodellen für große Entfernungen

K.-W. Hirsch, Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

Einleitung

Bei der Schallimmissionsprognose für Schießlärm von großkalibrigen Waffen nach der TA Schießlärm des BMVg wird die Schallausbreitung der Waffenknalle durch ein empirisches Modell beschrieben. Dieses Modell prognostiziert den Einzelereignispegel L_{CX} unter Berücksichtigung von waffen- und munitionsspezifischen Quell- und Ausbreitungsparametern, /1/. Neben der standardmäßig eingeführten Berücksichtigung der geometrischen Dämpfung und der bei Einzahlpiegeln notwendigen abstandsabhängigen Luftabsorptionskoeffizienten hat dieses Modell drei Parameter zur Anpassung der Ausbreitungsprognose an die Messwerte: jeweils eine zum logarithmierten Abstand bzw. zum linearen Abstand proportionale Korrektur (K_{sitlog} bzw. K_{sitlin}) und einen Parameter zur Beschreibung der Pegelverschiebung durch Wind- und Temperatureinflüsse (K_{met}). Das Modell erlaubt also eine Prognose unter Berücksichtigung z.B. einer Langzeitstärkewindrose oder für vorherrschende Windlagen. Als ‚überschlägige Prognose‘ nach der TA Schießlärm werden die Schallimmissionspläne standardmäßig mit einem Mitwind von 3 m/s für alle Schalle gerechnet. Zu den Grundlagen dieses Ansatzes siehe /2/.

Das Modell berücksichtigt keine Schirmwirkungen - weder von Aufbauten in der Nachbarschaft der Quelle oder des Immissionsortes noch auf dem Ausbreitungspfad. Wegen der stets bei diesen Waffenknallen pegelbestimmenden tiefen Frequenzen (typisch < 125 Hz bzw. > 3 m Wellenlänge) ist diese Vernachlässigung in der Regel gerechtfertigt. Kontrollmessungen in Mittelgebirgslagen haben jedoch gezeigt, dass die Abschirmung durch das Gelände einen nicht zu vernachlässigenden Effekt bei der Knallausbreitung hat. Es werden auch bei witterungsbedingt günstigen Schallausbreitungsbedingungen signifikant kleinere Pegel gemessen als durch das Modell der TA Schießlärm prognostiziert. Ziel der Weiterentwicklung des Modells der TA Schießlärm ist es deshalb, einen modelltauglichen Ansatz zur Beschreibung des Einflusses der Geländeschirmung zu finden.

Rahmenbedingungen für einen modellkonformen Ansatz zur Geländeschirmung

• Gültigkeit bis 10 km und darüber hinaus

Bei der Immissionsprognose für tieffrequenten Schießlärm stehen Entfernungen von einigen Kilometern im Mittelpunkt der Analyse. Dies ist der typische Entfernungsbereich zwischen den Schießanlagen und der ersten Wohnbebauung in der Nachbarschaft eines Schießplatzes. Aber auch Entfernungen von über 10 km liefern oft noch nennenswerte Beiträge zum Immissionspegel. Ein modelltauglicher Ansatz für die Geländeschirmung muss deshalb im gesamten Entfernungsbereich sachgerechte Ergebnisse liefern.

• Trennung von Schirmrechnung und Meteorologieeinfluss

Der Ansatz muss die eigentliche Schirmrechnung vom Einfluss der Meteorologie trennen. Da das Modell der TA Schießlärm selbst bereits eine Abhängigkeit vom Bodenwind (Richtung und Stärke) kennt, müssen mindestens diese Parameter auch die ‚Schirmmeteorologie‘ bestimmen, um das Modell widerspruchsfrei zu den Eingangsdaten zu halten.

• Berücksichtigung der Krümmung der Schallstrahlen

Die Schirmmeteorologie muss in Anbetracht der großen Entfernungen die Krümmung der Schallstrahlen berücksichtigen und das ‚Überspringen‘ des Geländes beschreiben. Da solche gekrümmten Strahlen nicht mehr horizontal von der Quelle abgehen, muss der Ansatz den Abgangswinkel als Parameter enthalten, damit die Quellstärke im Hinblick auf die vertikale Richtung der Waffenknalle entsprechend korrigiert werden kann.

• Praxisorientierte Rechenzeiten

Die Berücksichtigung der Schirmung darf aus praktischen Erwägungen heraus die Berechnung von Schallimmissionsplänen für das zeitnahe Lärmmanagement nicht erheblich verzögern. Diese Bedingung lässt die Umsetzung tiefergehender physikalischer Konzepte bei der Schirmberechnung z.Zt. nicht zu.

Ein Lösungsweg

Die Schirmrechnung

Einen praktikablen Ansatz zur Berechnung der Schirmung liefert die DIN ISO 9613-2, /3/; allerdings nicht direkt. Über den Faktor $K_{met, 9613-2}$ berücksichtigt ihr Verfahren den Einfluss der Krümmung der Strahlen. $K_{met, 9613-2}$ hängt entscheidend vom Abstand des ersten Schallschirmes zur Quelle und vom zweiten Schallschirm zum Empfänger ab. Weder der Umweg noch der Abstand zwischen den Schallschirmen geht hier entscheidend ein. Auf diese Weise wird in der 9613-2 der Schirmwert reduziert, wenn beide Schirme eher in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger liegen. Ein Gelände liefert in der Regel eine Vielzahl von Beugungskanten zwischen Quelle und Empfänger. Leider ist die 9613-2 in diesem Fall eher unspezifisch. Sie schlägt bei Mehrfachbeugung als Näherung vor, aus der Folge der Schirme die beiden wirksamsten zu ermitteln und dann die entsprechenden Regelungen für zwei Schirme anzuwenden. Dies führt zu einem nicht sachgerechten Aufwand (im Hinblick auf die Rechenzeit), da numerisch eine Vielzahl von Permutationen aus den Schirmkombinationen gerechnet werden müssten und das auch noch je Oktave bzw. Terz, da der Schirmwert von der Wellenlänge abhängt. Andere Verfahren zur Bestimmung der beiden wirksamsten Schallschirme sind denkbar und auch numerisch umsetzbar, z.B. die Bestimmung der beiden wirksamsten Schallschirme als diejenigen, an denen die Richtung des Schallstrahles relativ am stärksten geändert wird. Sicher ist das Verfahren falsch, das den ersten und letzten Schallschirm zur Bestimmung von $K_{met, 9613-2}$ nutzt.

Es ist also nicht nur aus Gründen der Modell-Konformität sondern auch wegen der Schwächen der 9613-2 erforderlich, den Einfluss der Meteorologie und der Schirmwirkung bei der Geländeschirmung zu trennen. Die Ablösung des Einflusses der Meteorologie gelingt über die Annahme des Falles der seitlichen Beugung in der 9613-2; dann wird $K_{met, 9613-2} = 1$. Die Schirmgeometrie ergibt sich dann aus dem Geländeschnitt zwischen der Quelle und dem Immissionspunkt; eine mögliche Abstandskomponente parallel zur lokalen Schirmkante wird nicht berücksichtigt. Setzt man zunächst gerade Strahlen voraus, lässt sich eine Abfolge von Schallschirmen als Berührungspunkte eines über den Geländeschnitt gelegten Gummibandes ermitteln. Nun spielt nur noch der relative Umweg eine Rolle, die Einführung von zwei ‚wirksamsten‘ Schallschirmen ist nicht mehr erforderlich. Damit ist der Ansatz für die Schirmrechnung für gerade Strahlen also ohne Meteorologie vollständig definiert.

Schirmmeteorologie

Der oben abgelöste Einfluss der Meteorologie muss nun - allerdings aufwändiger als in der 9613-2 - wieder eingeführt werden. Dies kann über eine konkrete Berücksichtigung der Strahlkrümmung erfolgen. Folgende Überlegungen führen zu Annahmen über die Parameter, die die Krümmung bestimmen: Bei der Entwicklung des Modells der TA Schießlärm im Hinblick auf die Wind-Empfindlichkeit der Schallausbreitung wurde der Term mit K_{met} aus einer groben Korrelation zwischen dem Windgradienten und dem Bodenwind ermittelt /3/. Eigentlich ist deshalb der Windgradient in Richtung der Schallausbreitung der Parameter des Modells. Diese Beziehung lässt sich nun umgekehrt nutzen, um aus dem Bodenwind wieder eine Angabe des mittleren Gradienten zu erhalten und damit eine Schätzung für den Krümmungsradius der Schallstrahlen in Abhängigkeit einer Vorgabe des Bodenwindes.



Abb. 1 Bild A.1 der DIN ISO 9613-2 zur Dämpfung durch Bewuchs; als Abgangswinkel wird 15° und als Krümmungsradius 5000 m angegeben.

Die ‚Norwegian Trials‘ haben gezeigt, dass Schalle an Immissionsorten in großen Entfernungen typische Einfallswinkel im Bereich bis 15° haben [4]. Überträgt man dieses Ergebnis reziprok auf die Quelle, ist mit typischen Abgangswinkeln für die pegelbestimmenden Strahlen bis zu 15° zu rechnen. Ein weiteres Argument liefert wiederum die 9613-2; Dort wird im Anhang A bei der Dämpfung durch Bewuchs ebenfalls ein Abgangswinkel von 15° angenommen, s. Abb. 1.

In Kenntnis eines maximalen Abgangswinkels und eines Krümmungsradius lässt sich bereits eine Schallausbreitung mit gekrümmten Strahlen rechnen. Allerdings würde diese Rechnung bei großen Entfernungen und kleinen Krümmungsradien nicht mehr zu einer geometrischen Lösung ohne diskrete Bodenreflexionen führen, die über den Rahmen dieses einfachen Modells hinausgehen. Hilfsweise wird deshalb hier noch eine maximale Höhe der Schallstrahlen eingeführt, in der die Strahlen tangential einlaufen und horizontal bleiben, bis sie unter reziproken Bedingungen am Immissionsort auf einer Kreisbahn mit dem entsprechenden Krümmungsradius und dem Einfallswinkel eintreffen. Die maximale Höhe ergibt sich implizit aus Abgangswinkel und Krümmungsradius. Dieser Ansatz lässt sich ebenfalls durch die Ergebnisse der ‚Norwegian Trials‘ rechtfertigen.

Zusammenführung von Schirmmeteorologie und Schirmrechnung

Die Schirmrechnung nach 9613-2 ist für gerade Strahlen definiert, die Länge von Strahlen und die geometrischen Abstände sind gleichwertig, die Winkel aus der Geometrie zu bestimmen. Bei gekrümmten Strahlen werden diese Berechnungen durchaus nicht trivial und im Konkreten wenig anschaulich. Deshalb soll hier eine andere Sicht des Problems eingeführt werden: Schallstrahlen „erleben“ sich selber nicht als gekrümmt; aus ihrer Sicht ist ihr Weg „gerade“ und die Welt entsprechend verzerrt bzw. gekrümmt. Auch numerisch ist es einfacher, die Welt - hier den Geländeschnitt - entsprechend den oben erarbeiteten Bedingungen zu verzerren (konform abzubilden), als in der geraden Welt mit gekrümmten Strahlen zu rechnen.

Abb. 2 stellt beide Sichtweisen schematisch gegenüber. Die Verzerrung der Welt bildet sinngemäß den Einfluss des $K_{met, 9613-2}$ nach: die Höhe empfangener- oder quellnaher Schirme wird weniger stark reduziert als die Höhen der Schirme in der Mitte. Die Verzerrung hängt nun aber vom Krümmungsradius und vom Abgangswinkel ab und erlaubt die – wenigstens vorzeichenrichtige – Berücksichtigung der Meteorologie. Und das Modell ist durch den Parameter maximaler Abgangswinkel offen für empirische Anpassungen.



Abb. 2 Schematische Darstellung der Betrachtungsweise mit gekrümmten Strahlen über Gelände (oben) und mit geraden Strahlen über dem entsprechend verzerrten Geländeschnitt (unten)

Beispiel eines realistischen Geländeschnittes

In Abb. 3 ist für einen realistischen Geländeschnitt im Gebirge die ‚verzerrte Welt‘ für einen Krümmungsradius von 5000 m gezeigt. Bei der Schirmrechnung nach dem hier vorgestellten Ansatz ergibt sich bei 125 Hz – eine wesentliche Terz für die Beurteilung von Schießlärm schwerer Waffen – ein $D_{z,125\text{ Hz}} = 11,5\text{ dB}$ ($z = 1,53\text{ m}$, $d_{SS} = 3796\text{ m}$, $d_{SR} = 1286\text{ m}$, $e = 0\text{ m}$). Eine direkte Umsetzung der ISO 9613-2 ergibt ein $D_{z,125\text{ Hz}} = 4,8\text{ dB}$ ($z = 26,3\text{ m}$, $d_{SS} = 3801\text{ m}$, $d_{SR} = 1286\text{ m}$, $e = 1\text{ m}$, $K_{met, 9613-2} = 1,95 \cdot 10^{-5}$).

Unterstellt man, dass bei typischen Böden im Freien diese D_z eine Bodendämpfung von 4,8 dB enthalten, ergibt sich ein A_{bar} von 7,7 dB nach dem hier vorgestellten Ansatz bzw. 0 dB nach der ISO 9613-2. Die bisher vorliegenden Messungen von Schießlärm in Mittelgebirgslagen zeigen eine Pegelreduzierung in dieser Größenordnung. Der Ansatz geht im Vergleich zu der ISO 9613-2 zumindest in die richtige Richtung, er ist numerisch eindeutig umsetzbar und liefert praxisorientiert kurze Rechenzeiten.

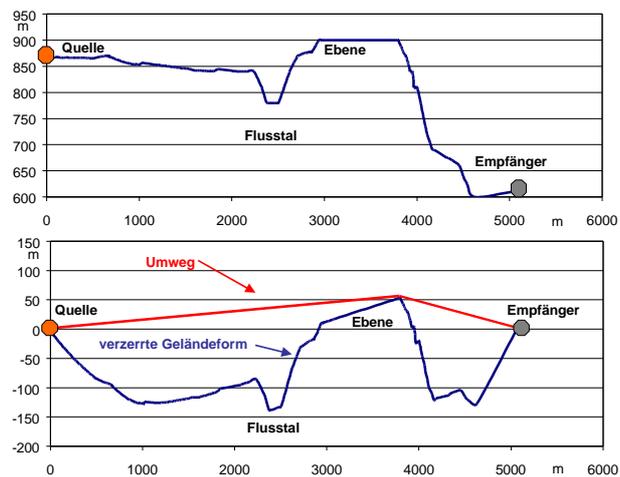


Abb. 3 Berechnung an einem realen Geländeschnitt oben unverzerrtes Gelände, unten verzerrt, Krümmungsradius 5000 m, Winkel 15°

Zusammenfassung und Ausblick

Der hier vorgestellte Ansatz zur Berechnung der Geländeschirmung für tieffrequente Waffenknalle über große Entfernungen erfordert neben den bereits für das Modell der TA Schießlärm benutzten Eingangsdaten einen Abgangswinkel als weiteren Parameter, für den plausible Annahmen bereits vorliegen. Der Vergleich mit ausgewählten Messergebnissen (Schirmsituationen) lieferte erfolgsversprechende Resultate. Ein validierender Vergleich der Prognosen des erweiterten Modells mit den vorliegenden und den noch zu erwartenden Ergebnissen von Messungen steht noch aus. Es ist zu erwarten, dass dieser Vergleich die zusätzlichen Parameter für Langzeitprognosen durchaus anders bestimmt.

Ein interessanter Aspekt dieses Ansatzes ist die Möglichkeit, auch Querwind- und Gegenwind-Ausbreitungen zu analysieren. Die Methode liefert auch bei ebenem Gelände und Gegenwind-Gradienten Schirmwerte, da der ebene Erdboden kreisförmig nach oben zu verzerren ist und sich den geraden Schallstrahlen als Hindernis entgegenstellt.

Da der Ansatz selbst eigentlich nicht vom Konzept der 9613-2 abweicht - die Meteorologie bei der Schirmung ähnlich pauschal behandelt -, ist dieses hier als Versuch bezeichnete Verfahren durchaus auch bei anderen Lärmarten anwendbar. Anders formuliert: es wurde an keiner Stelle dieses Verfahrens wirklich auf tiefe Frequenzen bzw. große Wellenlängen Bezug genommen.

Natürlich widerspricht dieses Verfahren der Einführung eines c_{met} . Es würde diese Korrektur sogar überflüssig bzw. systemimmanent berechenbar machen. Deshalb lassen sich auch aus der Anwendung dieses Verfahrens bei anderen Lärmarten Argumente für oder gegen die Methode ableiten. Zur Zeit muss offen bleiben, ob sich das Verfahren in der Praxis der Schießlärmprognose bewährt. Es ist bisher nur der Versuch eines Ansatzes zur Lösung des Problems Geländeschirmung.

Literatur

- /1/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: „Zum Standardverfahren für die Berechnung von Schallimmissionen in der Umgebung von Truppenübungsplätzen“, Fortschritte der Akustik - DAGA 1993, Bad Honnef: DPG-GmbH 1993, S. 656-659
- /2/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: „Zur Schallausbreitung tieffrequenter Impulsgeräusche über große Entfernungen“, Fortschritte der Akustik - DAGA 1989, Bad Honnef: DPG-GmbH 1989, S.539-542
- /3/ DIN ISO 9613-2, „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren“ Deutsche Fassung ISO 9613-2 : 1996
- /4/ Hirsch, K.-W.: „On the influence of local ground reflections on sound levels from distant blasts at large distances“, Noise Control Eng. J. 46(5), 1998 Sep.-Oct pp. 215-226

Diese Untersuchungen werden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.