

Geländeschirmung bei Schallausbreitungsmodellen über große Entfernungen

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

Einleitung

Auf der DAGA 2001 wurde ein Konzept zur Berechnung der Schirmung durch Gelände für die Schallausbreitung über große Entfernungen vorgestellt, /1/. Das Konzept nutzt bekannte Methoden zur Berechnung der Schirmwirkung (DIN/ISO 9613-2), /2/, berücksichtigt aber ansatzweise die Krümmung der Schallstrahlen nach Maßgabe pauschaler Wetterangaben. Ziel dieses Ansatzes ist es, beispielsweise bei der kartographischen Berechnung langzeitlicher Mittelwerte oder bei der Erstellung von tagesbezogenen Schallimmissionsplänen im Rahmen des Lärmmanagements einer Anlage, die Geländeschirmung durch einen einfachen phänomenologischen Term zu berücksichtigen, der sich formal als zusätzliche Korrektur in standardisierte Berechnungsverfahren einfügt.

Schallausbreitung über große Entfernung spielt immer dann eine Rolle, wenn die Quellenergie (-leistung) einer Schallquelle so hoch ist, dass ihre Immissionen zu signifikanten Beiträgen zum Beurteilungspegel führen. Dies ist der Fall beim Schießlärm schwerer Waffen, die wegen ihrer hohen tieffrequenten Energieanteile Einwirkungsbereiche bis zu 20 km haben. Dies kann aber auch bei Lärmarten der Fall sein, die wegen ihrer Impuls- oder Tonhaltigkeit und des entsprechenden Zuschlags auch bei geringeren physikalischen Pegeln zu einem signifikanten Beurteilungspegel führen und deshalb eine höhere Zuverlässigkeit bei der Prognose des physikalischen Pegels wünschenswert ist.

Das einfache Modell der Geländeschirmung

Der Einfluss des Windprofils bei der Ausbreitung über große Entfernungen ist noch stärker als bei Prognosen in kürzeren Abständen. Deshalb berücksichtigt das Konzept zwei Parameter, um die Windlage zu kennzeichnen: den sich aus dem Profil ergebenden Krümmungsradius der Strahlen und den Abgangswinkel des pegelbestimmenden Strahls. Unter diesen Vorgaben kann dann der Beitrag der Geländeschirmung mit Hilfe der Formel für die seitliche Beugung der DIN/ISO 9613 abgeschätzt werden, wenn man die geometrischen Parameter dieser Formel sinngemäß auf gekrümmte Strahlen überträgt. In der Rechenpraxis lässt sich das dadurch erreichen, dass man das Gelände (hier den Geländeschnitt zwischen Quelle und Empfänger) so abbildet, dass die Strahlen stets Geraden sind, siehe /1/.

Bei Mitwindlage führt diese Abbildung zu einer kreisförmigen Absenkung des Geländes zwischen der Quelle und Empfänger nach Maßgabe des Krümmungsradius und des Abgangswinkels, z.B. 15°, vgl. /2/. Eine Geländekontur liefert nur dann einen Beitrag zur Schirmung, falls die Kontur trotz dieser Absenkung in die gerade Verbindung zwischen Quelle und Empfänger hineinragt. Bei Gegenwindlage wölbt sich das Gelände nach oben. Eine sachgerechte Annahme für den Abgangswinkel ist 0° im Bild der geraden Strahlen. Das Konzept liefert auch für ebenes Gelände eine Schirmung, die durch die Geländekontur weiter modifiziert wird.

Bei der Beschreibung der Mitwindlage tauchen dann Probleme auf, wenn die oben skizzierte einfache Abbildung geometrisch zu einer Bodenreflexion führen würde. Das Problem wird bei diesem einfachen Ansatz umgangen, in dem der Schallstrahl in seiner größten Höhe über Gelände solange parallel und gerade geführt wird, bis die geometrische Bedingung aus Radius und Abgangswinkel gerade wieder erfüllbar ist. Da bei Gegenwindlagen mit einem Abgangswinkel von 0° gerechnet wird, entstehen diese geometrischen Probleme dann, wenn die Entfernung größer wird als der doppelte Krümmungsradius. In dem hier diskutierten Ansatz wird dann der Radius so vergrößert, dass der Schallstrahl auf einem Halbkreis von der Quelle zum Empfänger läuft.

Messung der Geländeschirmung

Die messtechnische Bestimmung des Einflusses der Geländeschirmung ist grundsätzlich aufwendig, weil der Einfluss der sonstigen Schallausbreitungsphänomene bereits zu erheblichen Spannweiten der Messpegel führt. Es ist deshalb eine große Serie energiereicher Schallereignisse notwendig. Das Gelände sollte möglichst signifikant im Hinblick auf die Geländeschirmung sein,

einzelne zu vergleichende Pfade sollten sich also im Wesentlichen durch diesen Einfluss unterscheiden. Für eine erste Messkampagne wurde ein Gelände gewählt, das grundsätzlich diesen Anforderungen entspricht. Von einem Sprengplatz aus können sich dort Knalle über eine mit Gras, Heide und vereinzelt Baumgruppen bestandene 1 km weite Ebene gegen eine Hügelkette ausbreiten, die sich um bis zu 40 m aus der Ebene emporhebt. In dieser Hügelkette können geschirmte und ungeschirmte Messpositionen gewählt werden. Auf dem Sprengplatz wurden jeweils drei Serien à 7 Sprengungen mit 0,5 kg, 1 kg, 3 kg, 5 kg, 10 kg und 25 kg durchgeführt, die stets zu ausreichend hohen Signalanteilen im untersuchten Frequenzbereich führten.

Abb. 1 zeigt die Lage der Messpunkte im Gelände. Die Geländeschnitte wurden aus einem vorliegenden Geländemodell berechnet. Alle Messpunkte liegen in einer ähnlichen Ausbreitungsrichtung von der Quelle aus in einem Entfernungsbereich von 1 km bis 3 km und repräsentieren geschirmte und weniger stark geschirmte Lagen.

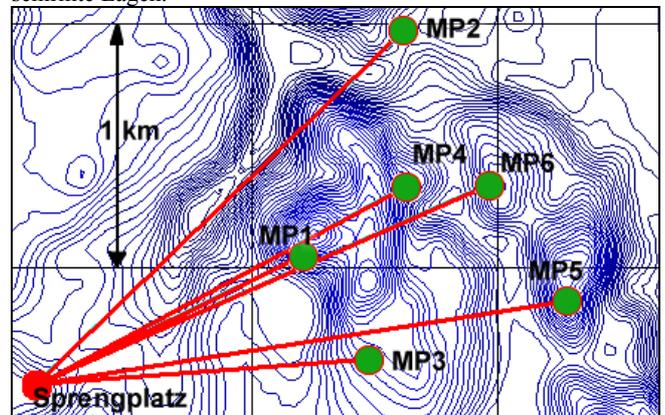


Abb. 1 Lage der Messpunkte im Gelände

Bei allen Messpunkten liegt das Mikrofon (für streifenden Schalleinfall orientiert) auf dem Boden. Wegen des dann vorauszusetzenden streifenden Schalleinfalls werden durch die lokale Bodenreflexion alle spektralen Anteile oberhalb von ca. 80-100 Hz durch destruktive Interferenz stark unterdrückt. Aus dem gleichen Grund werden die Anteile unterhalb von 100 Hz konstruktiv überlagert, so dass zuverlässig von einer Schalldruckverdopplung in diesem Frequenzbereich in allen Messorten ausgegangen werden darf. Von vorneherein ist daher die Aussage auf den Frequenzbereich unter 100 Hz beschränkt. Jede andere Messhöhe hätte zu einer unsicheren Interpretation des Einflusses der Bodenreflexion geführt und damit eine Aussage über den Einfluss der Geländeschirmung mit weiteren Annahmen belastet. Es gibt einen weiteren Grund, den Frequenzbereich zu beschränken. Normalerweise ist im mittleren und hohen Frequenzbereich mit einer großen Spannweite der Messwerte zu rechnen. Für tiefe Frequenzen bei streifendem Einfall jedoch ist diese Schwankebreite vergleichsweise gering. Diese Beschränkung mindert nicht grundsätzlich die Aussagekraft der Analyse. Da die Schirmung ein geometrischer Effekt ist, lassen sich die Aussagen mit einiger Zuverlässigkeit auf höhere Frequenzen ausdehnen.

Während der Kampagne wurden lediglich Gegenwindlagen angetroffen. (Die Organisation einer solch aufwendigen Messung lässt keinen Zeitplan zu, der auf die Windlage Rücksicht nehmen kann.) Im folgenden kann also lediglich der Gegenwindansatz des Konzeptes mit Messwerten verglichen werden.

Es ist kaum zu erwarten, dass eine einfache Ausbreitungsrechnung nach /2/ oder TA Schießlärm die Pegelwerte ohne Geländeschirmung so zuverlässig prognostizieren kann, dass ihre Prognosen als Vergleichswerte für die Ausbreitung ohne Geländeschirmung dienen könnten. Bei der Prüfung des Zusatzterms der Geländeschirmung A_{ter} ließe sich auf dieser Basis keine signifikante Aussage ableiten. Zielgröße der Analyse ist hier deshalb die Differenz

zwischen dem Einfügungsdämpfungsmaß des Geländes vom Sprengplatz jeweils zu den Messpunkten 2 bis 6 und dem entsprechenden Einfügungsdämpfungsmaß zu Messpunkt 1. In dieser Pegeldifferenz heben sich in erster Näherung sonstige unsichere Einflüsse auf. Nach Korrektur der geometrischen Dämpfung und der Luftabsorption im Hinblick auf die unterschiedlichen Entfernungen der Messpunkte ergibt sich eine abgeleitete Messgröße, die wesentlich vom Einfluss des Geländes geprägt sein wird.

Vergleich der Prognose mit den Messergebnissen

Abb. 2 zeigt die gemessene Differenz der Geländeschirmung. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aller Messungen (70 Sprengungen) an einem Tag mit relativ gleichbleibender Gegenwindlage. Die Differenz steigt von geringen Werten bei tiefen Frequenzen zu höheren Frequenzen bis zu einem Maximum von 23 dB an. Es ist bemerkenswert, dass dies auch für die Messpunkte gilt, die eigentlich eine direkte Sichtverbindung zur Quelle haben sollten.

Abb. 3 zeigt die entsprechende Differenz für die direkt nach der Formel der seitlichen Beugung, /2/ gerechneten Verhältnisse. Wie zu erwarten ist, zeigt sich kaum ein Einfluss; lediglich der deutlich geschirmte MP4 erhält eine nennenswerte Schirmdifferenz.

Die folgenden drei Abbildungen zeigen die Differenz nach dem hier zu prüfenden Modell für drei unterschiedliche Einstellungen: Abb. 4 unterstellt einen Krümmungsradius von -1 km, Abb. 5 einen Radius von -10 km, beide bei einer Quellhöhe von 0 m. Abb. 6 zeigt das Ergebnis für eine Quellhöhe von 3 m. (Zwar wurden die Sprengungen auf dem Boden gezündet. Die aus Sicherheitsgründen vorhandenen Schutzwälle um den Sprengplatz herum können aber durchaus zu einer anderen effektiven Quellhöhe führen.)

Es ist nicht entscheidend, dass noch erhebliche Unterschiede zwischen den Messwerten und der Prognose aufzuzeigen wären. Entscheidend für den Anspruch des Modells ist, dass es offenbar die richtige Größenordnung der Differenz voraussagt und auch grundsätzlich ihre Zunahme zu höheren Frequenzen anzeigt, wenn ein großer Krümmungsradius als zutreffend angenommen wird. Die relative Lage der Kurven zueinander stimmen zwischen Prognose und Messung ebenfalls überein. Das Ergebnis unterstützt also wenigstens qualitativ das Modell.

Es soll hier nicht versucht werden, aus den bekannten Windstärken an zwei Stellen einen plausiblen Krümmungsradius zu bestimmen. Dies wäre auch bei höherem Messaufwand für das Windfeld kaum möglich, da Windleiteffekte an der Hügelkette und der Tagesgang immer noch maßgeblichen Einfluss haben könnten. Es könnte ein Ziel sein, den Radius - ähnlich wie bei Mitwind - auf 5.000 m festzulegen. Eine solche pauschale Annahme würde zumindest durch dieses Beispiel nicht falsifiziert.

Zusammenfassung

Der Vergleich zwischen den Messungen des Einflusses der Geländeschirmung und den Vorhersagen des in /1/ vorgestellten und hier erweiterten Modells liefert ein insgesamt zufriedenstellendes Ergebnis. Das Modell ist offensichtlich in dem hier vorgestellten Beispiel in der Lage, den Einfluss des Geländes bei sachgerechter Annahme des Krümmungsradius qualitativ und in Grenzen auch quantitativ richtig zu beschreiben. Allerdings sind weitere Messungen - insbesondere für die bedeutendere Mitwindlage - erforderlich, um dieses Modell gegebenenfalls in der Schallausbreitungsrechnung der TA Schießlärm einzusetzen. Der durch diesen Ansatz erzielbare Fortschritt kann aber auch für andere Schalle zu einer interessanten Erweiterung der entsprechenden Ausbreitungsmodelle führen, da sich das Modell problemlos in die Systematik dieser Modelle einfügen ließe.

Literatur

- /1/ Hirsch, K.-W.: „Über einen Versuch zur Berücksichtigung der Geländeschirmung in Schallausbreitungsmodellen für große Entfernungen“, Fortschritt der Akustik - DAGA 2001 TU Hamburg, DEGA e.V. ISBN 3-9804568-9-7
- /2/ DIN ISO 9613-2, „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren“ Deutsche Fassung ISO 9613-2 : 1996

Diese Untersuchungen werden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.

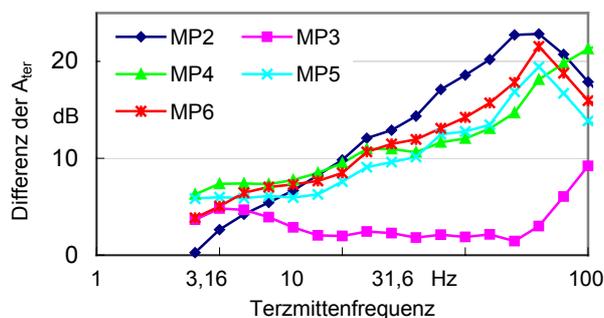


Abb. 2 Messwerte

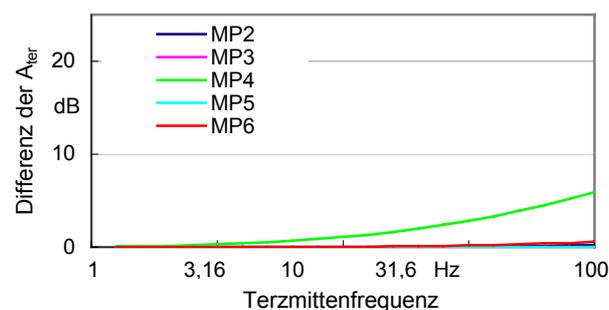


Abb. 3 DIN/ISO 9613-2, seitliche Beugung, Quellhöhe 0 m

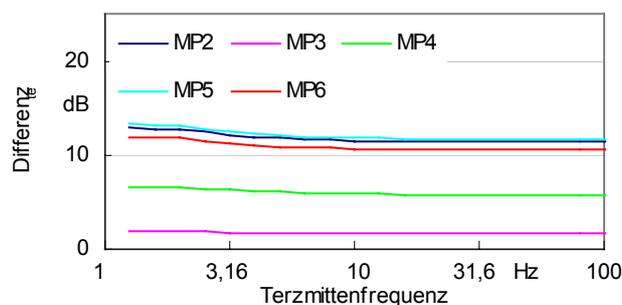


Abb. 4 IfL-Modell, Radius -1 km, Quellhöhe 0 m

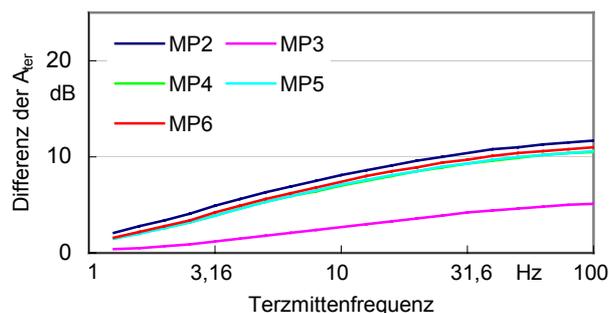


Abb. 5 IfL-Modell, Radius -10 km, Quellhöhe 0 m

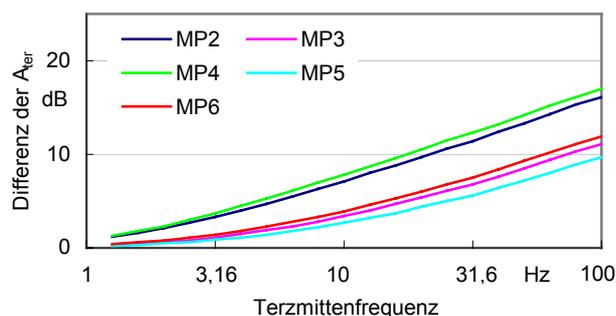


Abb. 6 IfL-Modell, Radius -10 km, Quellhöhe 3 m

Abb.2-6 Differenz der Geländeschirmung zwischen den Messpunkten 2 bis 6 und der Geländeschirmung zum Messpunkt 1 für den Frequenzbereich von 1 Hz bis 100 Hz