

## Lärmschutz durch Wald – Teil 2

### Forstliche Aspekte bei der Schallausbreitungsrechnung

Karl-Wilhelm Hirsch<sup>1</sup>, Mattias Trimpop<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cervus Consult GmbH, Willich, Hirsch@cervus.de

<sup>2</sup>Institut für Lärmschutz, Düsseldorf, MTrimpop@ifl-acoustics.de

#### Einleitung

In der Literatur wird – stark abhängig vom betrachteten Wald und den in den Vordergrund gestellten Effekten und Szenarien - uneinheitlich über das Ausmaß der Schallminderung durch Wald bzw. Waldstücke im Ausbreitungspfad berichtet. Grundsätzlich kann jedoch festgestellt werden, dass Wald über verschiedene Phänomene die Schallausbreitung beeinflusst, siehe z.B. Albert [1] als jüngerer Übersichtsartikel. White und Swearingen berichten in [2] über die Pegelminderung bei der Ausbreitung von Waffeknallen durch Wald. Im Teil 1 dieses Beitrages [3] wird die Minderung durch Waldstücke ebenfalls nachgewiesen und durch Pfadvergleichsmessungen quantifiziert. Waldstücke können also allgemein Lärmschutzfunktionen übernehmen.

Die Schießbahnen und Feuerstellungen auf Schießplätzen sind in vielen Fällen von Waldstücken gesäumt. Ausbreitung durch Wald ist deshalb der Regelfall. Häufig wird allerdings argumentiert, dass wirtschaftlich genutzter Wald kein nachhaltiges Element eines Ausbreitungsszenarios sei und deshalb sein lärmindernder Einfluss langfristig nicht einfließen sollte. Dieses Argument tritt auf Schießplätzen der Bundeswehr deutlich in den Hintergrund. Wald auf diesen Anlagen hat viele Funktionen, die sich auch an betrieblichen Rahmenbedingungen orientieren. Die Waldfunktion ‚Lärmschutz‘ kann hier also nachhaltig sichergestellt werden kann.

Ziel einer Studie ist es, das technische Ausbreitungsmodell der LMR für Schießlärm [5] um einen Dämpfungsterm für Waldstücke sachgerecht zu erweitern und zu validieren. Aus Sicht der Forstwirtschaft kehrt sich zugleich die akustische Fragestellung um: Wie muss ein Wald lageabhängig gestaltet sein, damit eine bestmögliche Lärmschutzfunktion erreicht werden kann?

#### Walddämpfung in Verordnungen, Normen und Richtlinien

In den einschlägigen Vorschriften zur Berechnung der Schallausbreitung für die Lärmbeurteilung wird die Walddämpfung entweder gar nicht oder nur ansatzweise berücksichtigt. Ein entscheidender Grund für diese Vernachlässigung ist, dass die Vorschriften meistens allein die schallausbreitungsgünstige Situation zugrunde legen und auf Mittelungspegel abzielen und dann dem Wald keine Schallminderung zuweisen. Die DIN ISO 9613-2 zeigt in ihrem informativen Anhang die Vorstellung, die sich damit verbindet: Wald mindert den Schall nur dann, wenn der gedachte maßgebliche Schallstrahl wenigstens stückweise durch ihn dringt. Auch die veraltete VDI 2720 kennt den Wald als dämpfendes Element. Beide Ansätze berücksichtigen allerdings keinerlei forstlichen Aspekte.

Vergleicht man die Prognosen beider Ansätze, ergeben sich grundsätzlich unterschiedliche Ergebnisse für die gleiche Situation. Zudem können beide Ansätze die in Teil 1 [3] vorgestellten Messwerte nicht annähernd prognostizieren. Deshalb können diese Ansätze nicht Grundlage für eine Berechnung der Walddämpfung im Rahmen der LMR sein. Diese Richtlinie stellt auch nicht allein auf die schallausbreitungsgünstige Situation ab, sondern erfordert die Prognose von Perzentilpegeln in Abhängigkeit von Windstärke und Windrichtung, sowohl für den Schallexpositions- als auch für den Spitzenpegel,  $L_{CSEL}$  bzw.  $L_{CPeak}$ . Es ist anschaulich, dass beide

Pegelarten unterschiedliche Minderungen erfahren werden, wenn sich Knalle durch Wald ausbreiten.

Wunderli und Salomons entwickeln in [4] ein technisches Modell zur Berücksichtigung der Waldrandreflexion in Schallausbreitungsmodellen. Es wird dabei besonders deutlich, welche weitreichende Näherungen erforderlich sind, um auf der Basis physikalischer Beschreibungen überhaupt einen für die Lärmprognose praxistauglichen Ansatz für diesen Einfluss abzuleiten.

#### Diskussion der Phänomene

Die horizontale Struktur des Waldes bestimmt die Schwächung des Schalls durch Streuung. Streuung führt nicht zu einem energetischen Verlust, ist aber verantwortlich für die Ablenkung des Schalls aus seiner Ausbreitungsrichtung und für Inkohärenz und damit für den Verlust der Impulshaltigkeit. Sachgerechte Parameter können die Stammdicke, die Baumdichte, die relative Lage zwischen Quelle und Empfänger und die Ausdehnung des Waldstückes sein.

Die vertikale Struktur bestimmt die Luftabsorption über die Luftfeuchte, die Bodenabsorption über die Beschaffenheit des Waldbodens und über die Ausbildung eines Temperatur- und Windprofils die Strahlführung innerhalb des Waldstückes. Über die Waldhöhe hat sie auch Einfluss auf Schirmeffekte und die Wind- und Temperaturprofile oberhalb des Waldstückes. Abbildung 1 zeigt mögliche Kenngrößen.

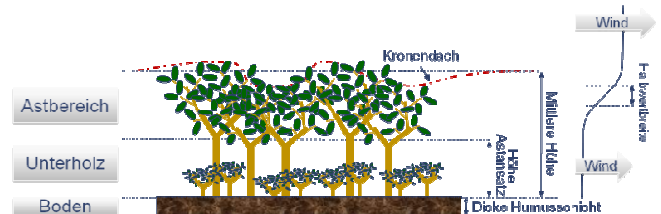


Abbildung 1 Skizze der vertikalen Waldstruktur

Ein Waldstück insgesamt führt indirekt über den Einfluss der Windanströmung, des Wind- und Temperaturprofils und der Turbulenz vor, über und hinter dem Waldstück zu weitere Phänomenen, die darüber hinaus die Schallausbreitung über ein Waldstück signifikant beeinflussen werden.

Es ist zweifellos eine besondere Herausforderung, diese Phänomene und die sie kennzeichnenden potentiellen Messgrößen zu den wenigen Parametern zu kondensieren, die möglicherweise in einem technischen Ausbreitungsmodell verwendet werden können, um ein Waldstück zu spezifizieren. Aber zumindest die tendenzielle Auswirkung einiger Messgrößen kann vermutet werden. Eine höhere Pegelminderung ist zu erwarten bei: größeren Abmessungen des Waldstückes, dichterem Baumbestand, dichterem Blattwerk, stärkerer Ausbildung eines Schallgeschwindigkeitsgradienten im Kronenbereich, dickerer Humusschicht. Ambivalent bleibt die Einflüsse einer erhöhten Luftfeuchtigkeit, des Stammdurchmessers in Relation zum Bestandsdichte und dem Frequenzspektrum der Quelle, die Höhe des Astansatzes und die oben als indirekte Phänomene bezeichneten Effekte.

## Lärmprognose

Eine weitere Herausforderung bei jeder Lärmprognose ist die Abbildung der Parameter aus den einschlägigen Fachinformationssystemen auf die identifizierten akustischen Parameter. Bei großen Schießplätzen können in den Informationssystemen mehr als 1000 Waldstücke ausgewiesen sein. Das unterstreicht, dass die forstliche Beschreibung eines Waldstückes ausreichen muss, um eine akustische Beschreibung abzuleiten.

Nr.	Eigenschaft	Einheit	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse
1	Wind-Eindringtiefe	m	gering < 3	mittel 3 bis 7	hoch > 7	---
2	Bodenabsorption 500 Hz, steifend	%	hoch > 40	mittel 20 bis 40	gering < 20	---
3	Durchgangsdämpfung Waffen bis Kaliber 20 mm	dB/km	sehr hoch > 5	hoch 2 bis 5	mittel 1 bis 2	gering < 1
4	Durchgangsdämpfung Waffen ab Kaliber 20 mm	dB/km	sehr hoch > 3	hoch 1 bis 3	mittel > 0 bis 1	gering 0
5	Mittlere Höhe	m	sehr hoch > 30	hoch 20 bis 30	mittel 10 bis 20	niedrig < 10
6	Waldrand Reflexion	dB	sehr hoch > 1	hoch 0,5 bis 1	mittel > 0 bis 0,5	gering 0
7	Waldrand Rückstreuung	dB	sehr hoch > 1	hoch 0,5 bis 1	mittel > 0 bis 0,5	gering > 1
8	Waldrand Eindringtiefe	m	gering < 10	mittel 10 bis 30	hoch > 30	---
9	Kronenrauigkeit	m	rau > 3	glatt ≤ 3	---	---

Tabelle 1 Akustische Klassierung

Nr.	Eigenschaft	Einheit	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse
1	Baumart der Hauptschicht	textlich Jahreszeit %	Nadelholz ganzjährig > 60	Laubholz Sommer 40 bis 60	Laubholz, Kiefer Winter > 40%
2	Alter der Hauptschicht	a	hoch > 80	mittel 40 bis 80	gering < 40
3	Anzahl Bäume	Bestockungsgrad	hoch > 1,0	mittel 0,7 bis 1,0	gering < 0,7
4	Flächentiefe	typ. Abmessung m	hoch > 1000	mittel 300 bis 1000	gering < 300
5	Verjüngung	Flächenanteil %	hoch > 60 %	mittel 30% bis 60 %	gering < 30 %
6	Unterstand	Flächenanteil %	hoch > 60 %	mittel 30% bis 60 %	gering < 30 %

Tabelle 2 Forstliche Klassierung

Im Rahmen der Studie wird eine zunächst pragmatische Herangehensweise gewählt. Sowohl die akustischen Parameter, siehe Tabelle 1, als auch die forstlichen Parameter, siehe Tabelle 2, werden klassiert, vgl. dazu methodisch die Klassierungen in [6]. Die gewählten Eigenschaften sind in Verbindung mit Abbildung 1 selbst-erklärend.

Die Eigenschaften des Waldrandes sind in der forstlichen Klassierung noch nicht vorhanden. Allerdings ist der Gestaltung des Waldrandes sowohl in seiner horizontalen Struktur (geometrischer Verlauf, Unregelmäßigkeit ähnlich wie die Kronenrauigkeit) sicher nicht ohne Bedeutung für die Reflexion und Rückstreuung, die bei Waffenknallen eine signifikante Bedeutung für die Lärmprognose haben können, vgl. [4].

Bei der Abbildung der forstlichen Eigenschaften in Tabelle 2 auf die akustischen Eigenschaften sind einige Aspekte zu beachten. Der Bestockungsgrad ist ein Maß für die Dichte der Bäume, der sich nur in Verbindung mit der Baumart zu Parametern für die Streuung - wie mittlere Anzahl der Stämme pro Flächeneinheit und mittlerer Stammdurchmesser - verwenden lässt. In die Schätzung für den Stammdurchmesser geht auch die Verjüngung ein, die berücksichtigt, zu welchem Ausmaß im Wald geerntet und nachgepflanzt wurde. Bei der akustischen Klassierung wurde wegen dieses komplexen Zusammenhangs direkt die Durchgangsdämpfungen für die

beiden Waffenklassen (bis 20 mm, 500 Hz spektraler Schwerpunkt bzw. ab 20 mm, 100 Hz) eingestellt. Aus dem Alter der Hauptschicht lässt sich in Verbindung mit der Baumart die mittlere Höhe des Waldes abschätzen.

## Erster Ansatz

Die Walddämpfung wird auf zwei effektive Wirkungen zurückgeführt, die mit jeweils einem Modellparameter verbunden werden: die Dämpfung beim Durchgang des Schalls und die Dämpfung

durch Abschirmung beim Überstreichen des Waldstückes. Die akustischen Eigenschaften 1 bis 4 (Tabelle 1) werden im Wesentlichen auf den Durchgangparameter, die Eigenschaften 5 bis 9 auf den Abschirmungsparameter laden. Da zumindest die Wirkungsrichtung (Vorzeichen) der jeweiligen Eigenschaften vermutet werden kann, ist unter Berücksichtigung der in der Klassierung ausgedrückten Gewichtung zumindest ein Ansatz abzuleiten, wie sich diese Eigenschaften grundsätzlich auf die Walddämpfung bzw. die beiden Modellparameter auswirken werden. Gleichzeitig lässt sich aus den Messungen eine Spannweite des Einflusses des jeweils gemessenen Waldstückes ableiten.

## Ausblick

Aus der vorgestellten Klassierung in Verbindung mit allgemeinen physikalischen Überlegungen soll ein Modellansatz entwickelt werden, der auf der Basis der oben grob erläuterten Parameter zunächst die in Teil 1 vorgestellten Messungen beschreiben kann. Danach sind weitere Messungen erforderlich, die sowohl das Modell als auch die Klassengewichtung und die Bestimmung der Parameter aus den forstlichen Eigenschaften zuverlässiger bestimmen lassen. Diese Messungen können Langzeitmessungen im Rahmen von Überwachungsmessungen zum Lärmmanagement sein, die unabhängig von dieser Zielsetzung sowieso anfallen.

## Verweise

- [1] Albert, D. G.: "Past research on sound propagation through forests" ERDC/CRREL TR-04-18, 2004
- [2] White, M. J.; Swearingen, M. E.: "Influence of scattering, atmospheric refraction, and ground effect on sound propagation through a pine forest", J. Acoust. Soc. Am. Volume 122, Issue 1, pp. 113-119 (July 2007)
- [3] Trimpop, M.; Hirsch, K.-W.: "Lärmschutz durch Wald - Teil 1 Pfadvergleichsmessungen, Fortschritte der Akustik, DAGA 2010, Berlin
- [4] Wunderli, J. M.; Salomons, E. M.: "A Model to Predict the Sound Reflection from Forests", Acta Acustica Vol. 95 (2009) 1-1
- [5] „Richtlinie für das Lärmmanagement auf Schießplätzen (Lärmmanagementrichtlinie - LMR)“, BMVg, FÜ S IV 3
- [6] Hirsch, K.-W.; Vogelsang, B.: "General classification scheme for outdoor sound propagation situations", in Fortschritte der Akustik, DAGA 2010, Rotterdam

Die Studie wird von Zentralstelle für Transformation der Bundeswehr, Aufgabensteller BMVg, FÜ S IV 3, gefördert. Unser Dank gilt besonders der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben - Sparte Bundesforst - für die forstfachliche Unterstützung.