

Vegetationsabhängige Abschirmwirkung von Wäldern - Messtechnische Verifizierung eines akustisch-meteorologischen Modells

H-J.Ederer¹, Astrid Ziemann², Uwe Wollmann³

¹ Akustik Bureau Dresden, Ingenieurgesellschaft mbH, E-Mail: ederer@abd-online.com

² TU Dresden, Professur Meteorologie, E-Mail: astrid.ziemann@tu-dresden.de

³ Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, E-Mail: uwe.wollmann@smul.sachsen.de

Einleitung

Für den Lärmschutz an vielbefahrenen Straßen- und Schienenverkehrswegen gewinnen Waldgebiete eine zunehmende Bedeutung. Die Übertragbarkeit bisheriger Studienergebnisse auf konkrete Anwendungsfälle im Immissionsschutz ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Eine Ursache hierfür besteht darin, dass die Schallausbreitung von einer Vielzahl an Faktoren bestimmt wird. Abhängig von den Eigenschaften der Schallquelle, deren Abstand zum Immissionsort und den Umgebungsbedingungen können unterschiedliche Effekte wie z.B. Bodeneinfluss, vegetationspezifische Durchgangsdämpfung und Schallbrechung dominieren. Ein Ziel dieser und vorangegangener Studien war es, den meteorologischen Einfluss auf die akustische Abschirmwirkung von Waldgebieten mit einer typischen Ausdehnung von 200 m zu quantifizieren.

Fragen

Zu Beginn der Arbeiten bestanden folgende offene Fragen und Ziele:

- Welchen Betrag weist die Abschirmwirkung eines 200 m breiten Waldgebietes auf? Stimmt dieser Betrag mit den Angaben aus der DIN ISO 9613-2 überein?
- Welche zeitliche Variabilität zeigt die Abschirmwirkung? Gibt es einen Zusammenhang mit meteorologischen Einflüssen auf die Schallausbreitung?
- Welche Abhängigkeit zeigt die Abschirmwirkung von Vegetationseigenschaften? Gibt es weitere Abhängigkeiten?
- Welche Empfehlungen ergeben sich für die Anpflanzung von Wäldern?

Modelluntersuchungen

Durch die TU Dresden wurden bereits im Vorfeld Modelluntersuchungen [1] durchgeführt, bei denen verschiedene Vegetationsparameter und deren Einfluss auf die Tagesgänge meteorologischer Größen für verschiedene Jahreszeiten betrachtet wurden. Deren Simulationsergebnisse belegen deutlich die meteorologische Wirkung auf die Schallausbreitung bereits auf kurzen Entfernungen von einigen 10 m. Bei einer Frequenz von 1000 Hz können allein durch den Meteorologieeinfluss hervorgerufene Zusatzdämpfungen von mindestens 5 dB (Waldstreifen im Vergleich zu einer homogenen Graslandschaft) im sommerlichen Tagesmittel erreicht werden [2].

Messdurchführung

Entsprechend der simulierten Schallausbreitungsgeometrie wurden Messungen im Oktober 2014 (Modul 1) und im März 2015 (Modul 2) jeweils über einen Zeitraum von ca. 2-3 Wochen durchgeführt [3, 4]. Während des Moduls 1 kamen senderseitig häufig schallausbreitungsfreundliche Wettersituationen (Mitwind) vor. Eine weitreichende Schallausbreitung wird meteorologisch begünstigt, wenn die Schallgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt (positiver Vertikalgradient). Zu berücksichtigen ist hierbei, dass drei meteorologische Größen, Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, die Schallgeschwindigkeit bestimmen. Empfängerseitig war im Modul 1 verstärkt der Waldeinfluss (Empfänger im Lee des Waldes) festzustellen. Im Zeitraum des Moduls 2 kamen auch senderseitig häufiger negative Vertikalgradienten der Schallgeschwindigkeit vor, d.h. schallausbreitungsungünstige Situationen. Die akustischen Messungen spiegeln in beiden Messzeiträumen die tageszeitliche Variabilität des meteorologischen Einflusses auf die Schallausbreitung wieder. Das untersuchte Waldgebiet gliederte sich in einen Birkenwald und einen Fichtenbestand. Für die Schallausbreitungsstudie wurden akustische Messketten auf der sender- und der empfängerseitigen Waldseite beider Bestandsarten bis in eine Entfernung von ca. 550 m von einem Lautsprechercluster beschallt.

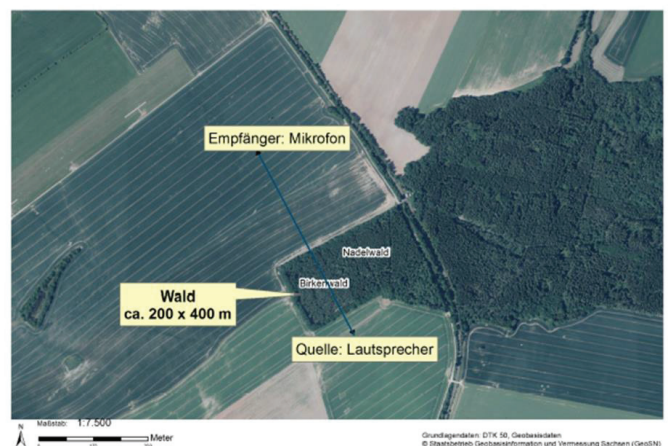


Abbildung 1: Luftbild des Messgebietes

Die Ausbreitungsdämpfung wurde mit Hilfe von frequenz aufgelösten Schallpegelmessungen unter Einbeziehung von Labormessungen eines Referenzspektrums des Lautsprechers entfernungsabhängig bestimmt. Dabei bestand ein Problem bei vorherigen Untersuchungen darin, dass „natürliche“ Schallquellen wie Fahrzeuge auf Straßen, Autobahnen oder Eisenbahnen bereits bei kurzen

Abständen (unter als 200 m) keinen ausreichenden Signal-Rausch-Abstand erreichen. Die Quelle ist zu „leise“ und nicht reproduzierbar.

Die Lösung fand sich in der Anregung mit 2 Hochleistungs-lautsprecher mit einem konstanten Schallleistungspegel $L_w = 126 \text{ dB(A)}$ und Rosa Rauschen komprimiert. Deren Vorteil ist eine identisch reproduzierbare akustische Anregung mit gleichbleibend hoher Lautstärke über weitem Frequenzbereich. Damit sind auch Aussagen zu Verkehrslärm (Straße, Schiene und Bodenlärm an Flugplätzen) möglich.



Abbildung 2: Vermessung der 2 Hochleistungs-lautsprecher im Großen Reflexionsarmen Raum der TU Dresden.

Für die Bestimmung von Schallgeschwindigkeitsgradienten ist die genaue Messung von Wind- und Temperaturgradienten notwendig. Nach Abstimmung aller beteiligten Sensoren wurden während der Module 1 und 2 Dauermessungen durchgeführt. Senderseitig wurden an einem teleskopartigen 30-m-Mast in fünf Höhenniveaus und empfangsseitig an einem 3-m-Mast in zwei Niveaus die relevanten Daten der Schalltemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung im 10-Hz-Takt aufgezeichnet. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht der akustischen und meteorologischen Messkette.

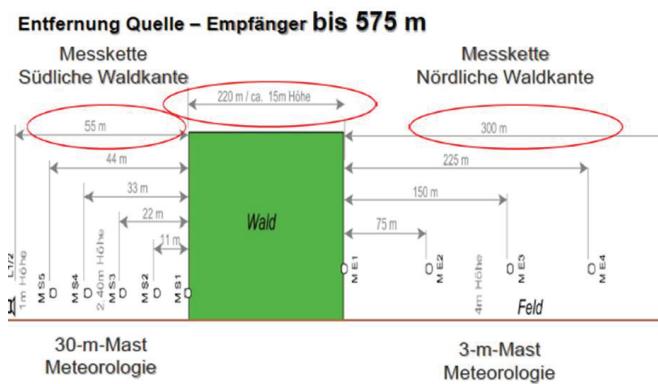


Abbildung 3: Akustische und meteorologische Messkette

Zusätzlich wurden Messungen der akustischen Bodenimpedanz sowohl im Nadel- und Laubwald als auch in der Gras- und Feldlandschaft durchgeführt.

Auswertung der akustischen Messungen

Die Ergebnisse wurden sowohl nach Jahreszeit (Sommer-Winterhalbjahr) als auch Waldart (Nadel – Laub) getrennt ausgewertet. Zusätzlich wurden entfernungsabhängige Dämpfungen ermittelt.

Für die Einfügungsdämpfung eines 200 m breiten Laubwaldstreifens im Modul 1 (Sommer) wird im Folgenden beispielhaft der aus den Messungen berechnete Mittelwert mit Standardabweichung dargestellt.

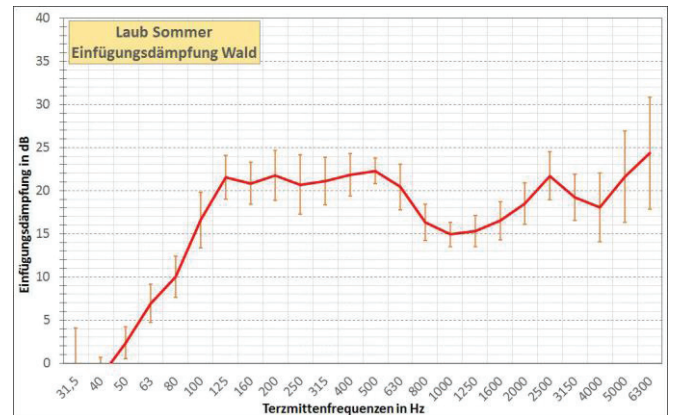


Abbildung 4: Einfügungsdämpfung Laubwald - Sommer

Zusätzlich wurde die Dämpfung auch entfernungsabhängig dargestellt. Dazu wurde in den Grafiken als Referenzkurve der Mittelwert einer Freifeldmessung über einem abgeernteten Maisfeld (fester Boden mit „Maisstoppln“) angegeben.

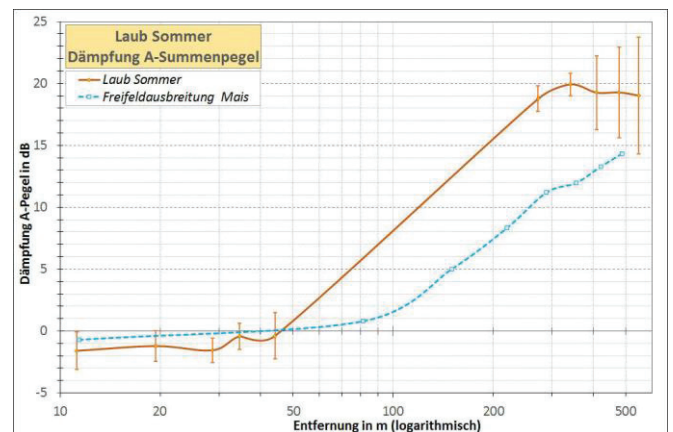


Abbildung 5: Dämpfung A-Summenpegel Laubwald

Anhand dieser Abbildungen lässt sich erkennen, dass sich die Ausbreitungsdämpfungen bis ca. 55 m (freie Schallausbreitung über Maisfeld vor der Waldkante) kaum unterscheiden und auf der abgewandten Seite infolge der zusätzlichen Bewuchsdämpfung durch den Wald größere Unterschiede auftreten. Diese liegen gegenüber der Freifeldkurve (= Bodendämpfung) im Bereich kurz hinter der Waldkante bei ca. 10 dB und fallen mit zunehmender Entfernung von dieser infolge des größer werdenden Einflusses der sich über den Wald hinweg ausbreitenden Schallanteile auf ca. 5 dB in 300 m Entfernung von der Waldkante ab.

Auswertung der meteorologischen Messungen

Ein Beispiel für einen Tagesgang des Schallgeschwindigkeitsgradienten zeigt Abbildung 6. In den Abend-, Nacht- und Morgenstunden kommen schallausbreitungsfreundliche Bedingungen vor (positive Gradienten). Demgegenüber verringern sich die Gradienten in den Mittagsstunden, was in einer schallausbreitungungünstigen Situation resultiert. Die Schwankungsbreite der Gradienten ist turbulenzbedingt ebenfalls tageszeitabhängig. Dieser typische Verlauf kommt bei ungestörten Wetterverhältnissen vor. Hier nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu. Das Vorzeichen der Höhenabhängigkeit der Lufttemperatur ist demgegenüber signifikant tageszeitabhängig. Damit ist der Temperaturgradient durch eine bedeutende Steuerwirkung der Schallausbreitung charakterisiert.

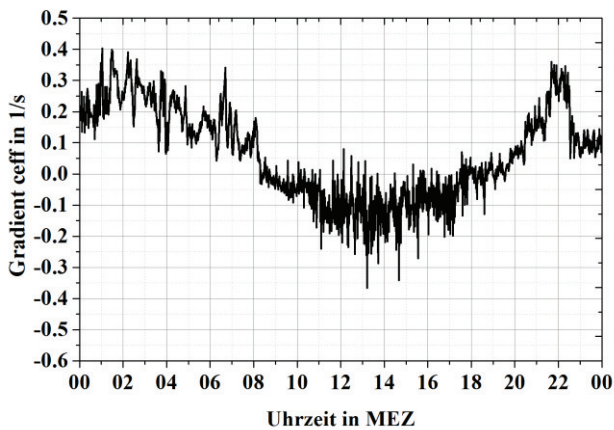


Abbildung 6: Tagesgang des Vertikalgradienten der effektiven Schallgeschwindigkeit (1-min-Mittel) in einer Höhe zwischen 10 und 2 m (senderseitig) am 24.03.15

Zusammenführung der akustischen und meteorologischen Messungen

Die meteorologischen und akustischen Messresultate wurden zusammengeführt, um den meteorologischen Einfluss auf die Schallausbreitung zu quantifizieren. Ein typisches Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt.

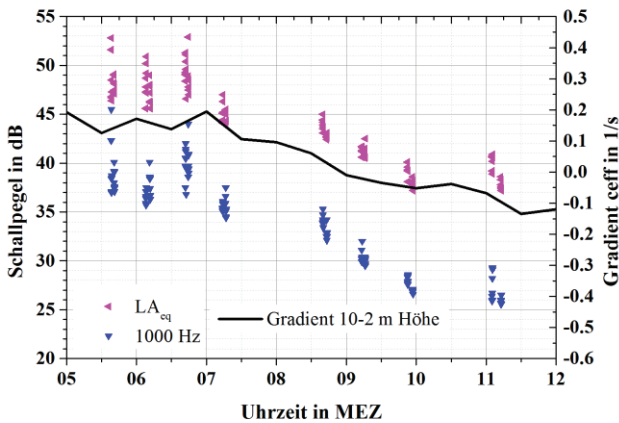


Abbildung 7: Schallpegel (1000-Hz-Terz und A-bewerteter Summenpegel als 30-s-Mittel) in 509 m Entfernung vom Sender und Vertikalgradient der effektiven Schallgeschwindigkeit (30-min-Mittel) am 24.03.15

Am Vormittag nahm der Gradient der Schallgeschwindigkeit ab. Damit war eine Abnahme des Schallpegels bei höheren Frequenzen und dadurch auch beim A-Summenpegel verbunden. Mit zunehmender Entfernung vergrößert sich der meteorologische Einfluss und verstärkt die Schallpegelabnahme bei hohen Frequenzen. Innerhalb von 6 Stunden wird eine Abnahme des Schallpegels von fast 20 dB bei der 1000-Hz-Terz erreicht. Der Summenpegel zeigt eine Abnahme von ca. 10 dB in diesem Zeitraum.

Um allgemeine Aussagen treffen zu können, wurden die Mittelwerte der Messreihen miteinander verglichen und mit den meteorologischen Daten zusammengeführt. An dieser Stelle sollen die akustischen Messdaten in zwei Übersichtsdiagrammen (Abbildung 8 und Abbildung 9) dokumentiert werden.

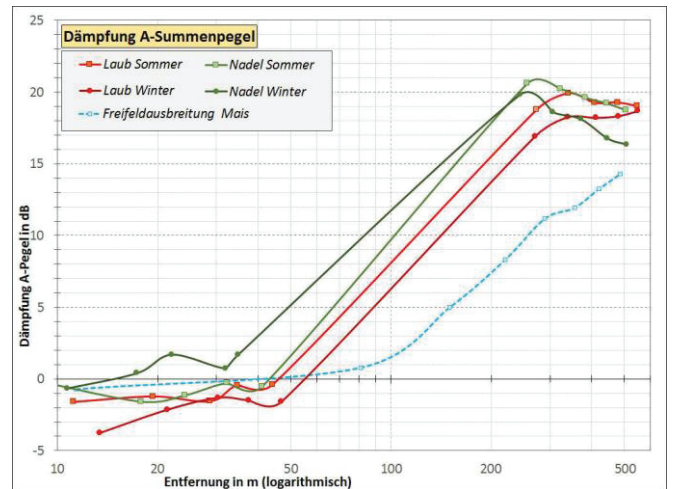


Abbildung 8: Mittelwerte der Dämpfung als A-Summenpegel für beide Module

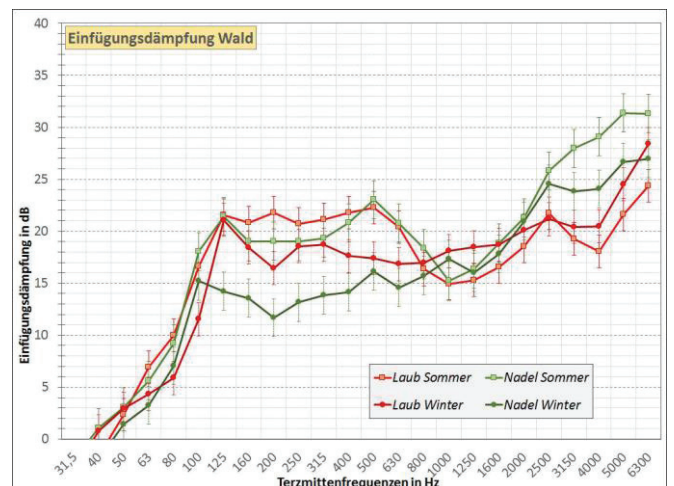


Abbildung 9: Mittelwerte der Einfügungsdämpfung für beide Module

Abbildung 8 lässt vermuten, dass für die Angabe der Dämpfung als A-bewerteter Summenpegel die Waldart keine Relevanz hat, sondern eher durch meteorologische Größen bestimmt wird. Wird die Dämpfung jedoch frequenzabhängig betrachtet, so lassen sich systematische

Unterschiede zwischen den Waldarten (und integral auch den Bodenbeschaffenheiten) erkennen.

In der Abbildung 9 sind besonders bei hohen Frequenzen Unterschiede zwischen Laubwald und Nadelwald zu erkennen. Die Dämpfung ist für den Nadelwald deutlich höher. Dies könnte auf die deutlich größere Bewuchsdichte zurückzuführen sein. Betrachtet man den A-Summenpegel der Walddämpfung, dann ergeben sich folgende minimale und maximale Werte, die während aller Messungen festgestellt wurden:

Tabelle 1: Minima und Maxima der Einfügungsdämpfung (Walddämpfung) für alle Messungen

Modul/ Baumart	Minimum Dämpfung in dB	Maximum Dämpfung in dB
Winter/Nadel	10,8	23,9
Sommer/Nadel	16,6	24,7
Winter/Laub	11,3	23,7
Sommer/Laub	17,4	21,2

Die niedrigsten Minima und die größten Maxima werden insbesondere für den Laubwald im Winter (Übergang zum Frühjahr) erreicht, d. h. die zeitliche Variabilität ist hier größer. Die Unterschiede zwischen Laub- und Nadelwald in einer Jahreszeit fallen demgegenüber geringer aus.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegenden meteorologischen und akustischen Messergebnisse ergeben zusammen mit Modelluntersuchungen eine umfangreiche Datenbank zur Abschirmwirkung von Waldgebieten. Die Ergebnisse in verschiedenen Jahreszeiten quantifizieren den meteorologischen Einfluss auf die schalldämpfende Wirkung von Wald und auf die Schalldämpfung in unterschiedlichen Entfernungen vom Waldgebiet. Damit wurden der Wertebereich und weitere statistische Kenngrößen der akustischen Abschirmwirkung in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen bestimmt. Dabei ist der ermittelte Einfluss der Jahreszeit bzw. der Wetterbedingungen auf die Walddämpfung größer als der Einfluss der Vegetationsart (Nadel- oder Laubwald). Folgende Ergebnisse erbrachten die durchgeführten Messungen:

- Sowohl Nadel- als auch Laubwälder erbringen eine signifikante Schalldämpfung.
- Die gemessene Walddämpfung ist im Durchschnitt größer als die Normangaben. Im Mittel ergab sich eine Dämpfung von 19 dB für einen ca. 200 m breiten Waldstreifen.
- Die tageszeitliche Schwankung der Walddämpfung hängt mit den meteorologischen Einflüssen auf die Schallausbreitung zusammen. Der Schwankungsbereich kann 10 dB und mehr innerhalb weniger Stunden betragen und sollte bei der Angabe von Mittelwerten berücksichtigt werden.
- Die Walddämpfung für Nadel- und Laubwald (mit Unterwuchs) liegt in einem ähnlichen Bereich.

Unterschiede zwischen den Modulen (Jahreszeiten) sind größer als zwischen den Vegetationstypen. Im Modul 1 (Sommer) wurden die größten Walddämpfungen für Nadelwald erreicht. Bei Mitwind ist die Dämpfungsreichweite des Laubwaldbestandes größer.

Empfehlungen für schallschutzgerechte Waldgebiete

In Zusammenarbeit mit dem Staatsbetrieb Sachsenforst ergeben sich folgende Planungsempfehlungen für eine maximale akustische Dämpfung:

- Herstellung eines Optimums zwischen hoher Pflanzenoberflächendichte auch ohne Belaubung (hohe Dichte an Ästen und Zweigen) und dem Grad an Kompaktheit der Waldstruktur (hohe Stammzahl pro Flächeneinheit)
- Herstellung eines ausreichenden Lichtangebotes für die Entwicklung einer Bodenvegetation und eines ausgeprägten Unterwuchses
- Pflanzung gestufter Waldränder (Krautschicht, Strauchschicht, Vorwald, Wald)
- Optimal: Anpflanzung von Mischwäldern mit einer Breite von mindestens 100 m primär nahe der Schallquelle bzw. sekundär in Empfängernähe
- Bestandsbreite von ca. 200 m und eine Vegetationshöhe von mindestens 20 m zur Erzielung einer Fernwirkung bis in mindestens 200-300 m Entfernung hinter der empfängerseitigen Waldkante

Literatur

- [1] Barth, M., Ziemann, A., Bernhofer, C.: „Akustische Abschirmwirkung von Wäldern - Vegetationsabhängige Abschirmwirkung von Wäldern – Simulationen mit einem akustisch-meteorologischen Modell“, Schriftenreihe des LfULG, Heft 33/2014
- [2] Ziemann, A.: „Akustische Abschirmwirkung von Wäldern - Vegetationsabhängige Abschirmwirkung von Wäldern – Simulationen mit einem akustisch-meteorologischen Modell“, Abschlussbericht zur Projektverlängerung, 2014, unveröffentlicht
- [3] Ziemann, A., Ederer, H.-J., Stüber, C., Hehn, M., Bernhofer, C.: „Schalldämpfung durch Wald - Vegetationsabhängige Abschirmwirkung von Wäldern – Messtechnische Verifizierung eines akustisch-meteorologischen Modells“ Teil 1, Schriftenreihe des LfULG, Heft 16/2016
- [4] Hehn, M., Ziemann, A., Ederer, H.-J., Stüber, C., Bernhofer, C.: „Schalldämpfung durch Wald - Vegetationsabhängige Abschirmwirkung von Wäldern – Messtechnische Verifizierung eines akustisch-meteorologischen Modells – Ergänzende Datenaufbereitung“ Teil 2, Schriftenreihe des LfULG, Heft 17/2016