Messung der akustischen Wirksamkeit von Vegetation neben Bundesfernstraßen

Dr.-Ing. Christian Schulze[1], Paul G. Lindner[1], Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübelt[1]

[1] *Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, 01307 Dresden, E-Mail: christian.schulze@akustikforschung.de*

Einleitung

Seit mehr als 70 Jahren werden messtechnische Untersuchungen zur akustischen Wirksamkeit von Wäldern und Vegetationsstreifen durchgeführt, die belegen, dass durch Bewuchstiefen größer 30 m mitunter signifikante Schalldämpfungen erreicht werden können. Die in der Literatur angegebenen Dämpfungswerte schwanken jedoch aufgrund unterschiedlicher berücksichtigter physikalischer Effekte sowie abweichender Rahmenbedingungen sehr stark, weshalb messtechnisch ermittelte Dämpfungswerte nicht ohne Weiteres auf konkrete Anwendungsfälle übertragbar sind. In bestehenden Normen und Berechnungsvorschriften zur Vorhersage der Lärmeinwirkung an maßgeblichen Immissionsorten neben Verkehrswegen wird der Einfluss von Wald auf die Schallausbreitung meist nicht oder nur sehr vereinfacht berücksichtigt.

Es wird der erste, im Sommer 2020 durchgeführte Teil einer umfangreichen Messkampagne der Schallausbreitung an und in schmalen Wald- und Vegetationsstreifen neben Bundesstraßen und Autobahnen vorgestellt. Hierfür wurden an acht verschiedenen Waldstreifen sowie zwei Freifeld-Messorten Messungen der Schallausbreitung in definierten horizontalen Abständen zur Fahrbahn und in zwei verschiedenen Höhen über dem Boden durchgeführt. Auf Basis der Ergebnisse der Sommer-Messkampagne werden erste Aussagen zur akustischen Wirksamkeit von Wald- und Vegetationsstreifen mit einer Bewuchstiefe von 25 m bis 145 m getroffen. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das Lärmschutzpotential von Wäldern und Vegetation, u. a. in Abhängigkeit von forstlicher Zusammensetzung, Bewuchstiefe und meteorologischen Parametern (Jahreszeit) zu ermitteln und in Einzelfällen eine Berücksichtigung schmaler Vegetationsstreifen neben Bundesfernstraßen in Schallausbreitungsrechnungen zu ermöglichen.

Konzeption Messkampagne

Messorte

Auf Basis einer umfangreichen Kartenrecherche sowie Vorortbegehungen wurden zehn verschiedene Messorte an Autobahnen bzw. Bundesstraßen im Raum Sachsen und Brandenburg ausgewählt. Davon sind acht Messorte Wälder mit verschiedener Baumart, Bewuchstiefe, Stammdurchmesser und Baumanordnung. Die beiden übrigen Messorte weisen Freifeldbedingungen über einem Waldboden bzw. über einem Grasboden auf. Bei der Auswahl der Messorte wurde neben den forstlichen Eigenschaften insbesondere auf die geometrischen Bedingungen (z. B. ausreichende Bewuchsbreite des Walds bei gleichzeitiger konstanter Bewuchstiefe parallel zu geradliniger Straße, geringe Geländeneigung ohne Hindernisse zwischen Straße und maßgeblichen Immissionsorten, Freifeldbedingungen hinter dem Wald), die akustischen Merkmale (z. B. ausreichend hohe Schallleistung bzw. Verkehrsstärke, keine störenden Schallquellen durch Industriegebiete, Wohnbebauung, weitere Straßen o. Ä. in unmittelbarer Messumgebung) sowie die Zugänglichkeit geachtet.

Messprinzip

Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Messaufbau. In verschiedenem Abstand zur Mitte des ersten Fahrstreifens erfassen Messmikrofone vor, hinter und innerhalb des Walds die spektrale Schallemission bzw. Schallimmission infolge der Fahrzeug-Vorbeifahrt entlang der Bundesfernstraße über die Zeit. Die Messmikrofone befinden sich dabei in 1,2 m sowie 4 m Höhe über dem Boden. Innerhalb sowie außerhalb des Waldes dienen Wetterstationen in 2 m bzw. 10 m Höhe über dem Boden der Messung von insbesondere Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit über die Zeit. Zusätzlich dient das Messsystem AcoustiAdrienne der AED der zerstörungsfreien messtechnischen Ermittlung der akustischen Impedanz der verschiedenen relevanten Bodenoberflächen vor Ort. Sämtliche Messungen erfolgten kontrolliert, d. h. unter kontinuierlicher Überwachung durch Personal. Dadurch konnten kurzzeitig auftretende Störereignisse, im Hinblick auf einen ausreichenden Signal-Rausch-Abstand, gezielt ausgeblendet werden.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen exemplarische Messpunkte zur Erfassung der Schallemission im Abstand von 7,5 m zur Mitte des ersten Fahrstreifens (Q) bzw. der Schallimmission unmittelbar an der vorderen Waldkante (IO 1) und innerhalb eines Nadelwalds in verschiedenen Abständen zur Mitte des ersten Fahrstreifens.

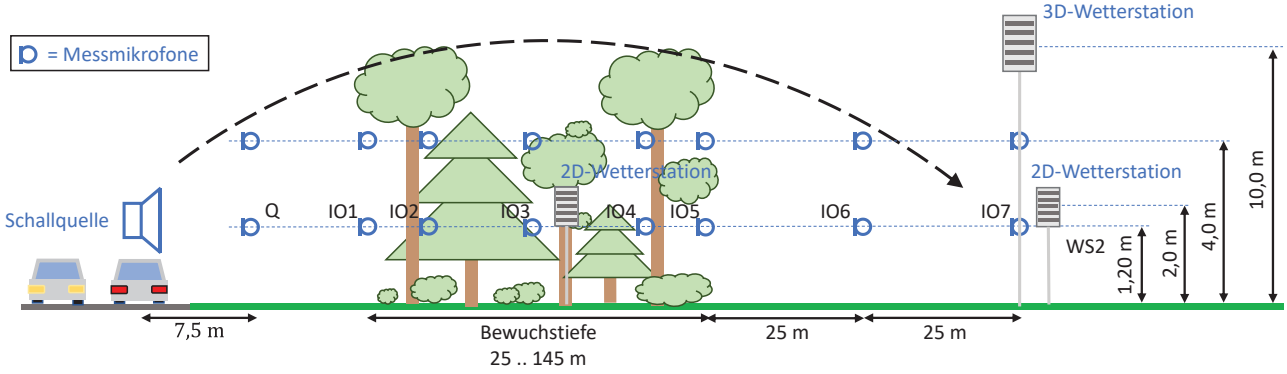

Abbildung 1: Prinzipskizze des Messaufbaus

Abbildung 2: Exemplarischer Messpunkt zur Erfassung der Schallemission im Abstand von 7,5 m zur Mitte des ersten Fahrstreifens (Q) sowie der Schallimmission unmittelbar an der vorderen Waldkante (IO 1)

Abbildung 3: Exemplarische Messpunkte zur Erfassung der Schallimmission innerhalb des Walds

Auswertung

Methodik

Die Auswertung der gemessenen Schalldruck-Zeitsignale erfolgte anhand der in Abbildung 4 skizzierten Methodik.

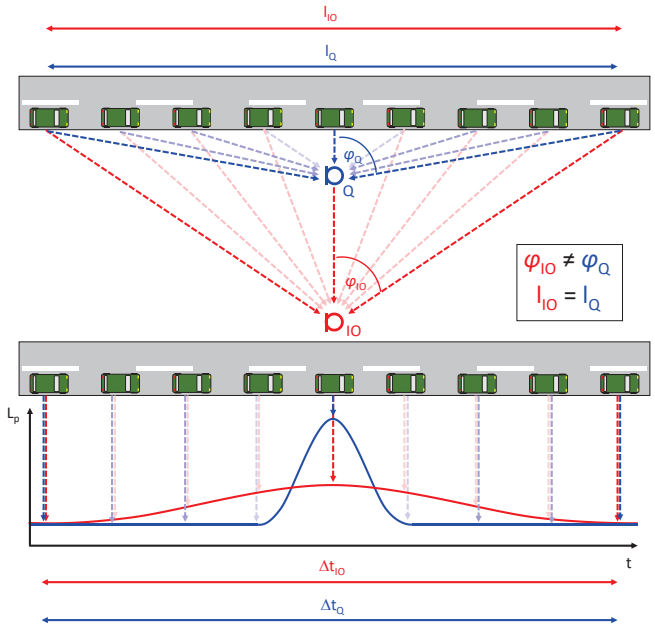

Abbildung 4: Prinzipskizze der angewendeten Auswerte-Methodik

Im Hinblick auf die Bestimmung einer von der Verkehrsstärke unabhängigen Schalldruckpegeldifferenz zwischen Emissions- und Immissionsort, eine primäre Schallausbreitung durch den finiten vegetationsspezifisch homogenen Bereich des Walds sowie die Gewährleistung eines ausreichenden Signal-Rausch-Abstands wurde eine messort- und messpositionsunabhängige konstante finite wirksame Länge (Teilstücklänge) der relevanten Verkehrsschallquelle (Linienquelle) festgelegt, die den energetisch wesentlichen Teil der Schallimmission bewirkt (vgl. Teilstückverfahren aus RLS-19). Die Beobachtungszeit ist damit für die verschiedenen Immissionsorte konstant, der effektive Beobachtungswinkel des passierenden Fahrzeugs (sich bewegende Punktschallquelle) verringert sich mit zunehmendem Abstand des Immissionsorts zur Schallquelle.

Ergebnisse

Abbildung 5 zeigt exemplarisch den gemessenen Schalldruckpegel-Zeitverlauf an den verschiedenen unteren und oberen Emissions- und Immissionsorten während der Vorbeifahrt zweier Fahrzeuge. Es ist deutlich zu erkennen, dass der gemessene Schalldruckpegel-Zeitverlauf erwartungsgemäß mit zunehmendem Abstand des Immissionsorts zur Schallquelle sinkt. Die durch größere Linienstärke hervorgehobenen Punkte verkörpern die Zeitbereiche, in denen sich die Fahrzeuge innerhalb der oben definierten Teilstücklänge befanden. Durch zeitliche Filterung fließt ausschließlich die Energie dieser Punkte in die Ermittlung eines mittleren positionsabhängigen Schalldruckpegels ein (Nutzdauer). In Abbildung 5 ist zu sehen, dass der Schalldruckpegel an sämtlichen Immissionsorten außerhalb der hervorgehobenen Bereiche deutlich niedrigere Werte annimmt als während der Vorbeifahrt, wodurch ein ausreichend hoher Signal-Rausch-Abstand sichergestellt werden konnte.

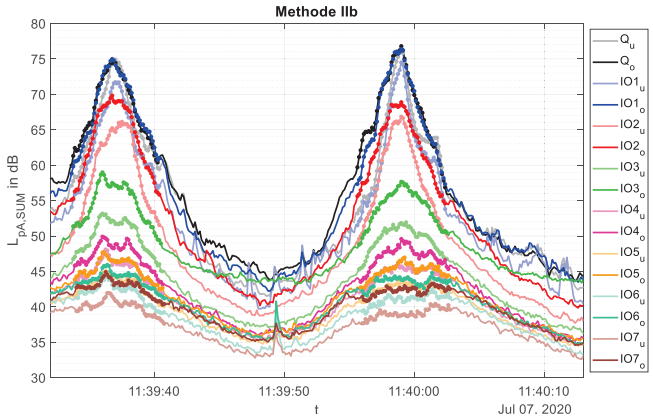

Abbildung 5: Schalldruckpegel-Zeitverlauf während der Vorbeifahrt zweier Fahrzeuge gemessen an den verschiedenen oberen und unteren Messpunkten; hervorgehobene Punkte größerer Linienstärke: Zeitbereiche, in denen sich die Fahrzeuge innerhalb der oben definierten Teilstücklänge befanden

Der sich über einen Messtag ergebende fremdgeräuschkorrigierte mittlere spektrale Schalldruckpegel für die verschiedenen Emissions- und Immissionsorte ist in Abbildung 6 dargestellt. Auch hierin ist zu erkennen, dass sich der Schalldruckpegel erwartungsgemäß mit zunehmendem Abstand der Messpunkte zur Schallquelle verringert. Gleichzei-

tig fällt jedoch auf, dass die für Straßenverkehrslärm typische Gestalt sowie der energetische Schwerpunkt des Schalldruckpegelspektrums nahezu unverändert bleiben.

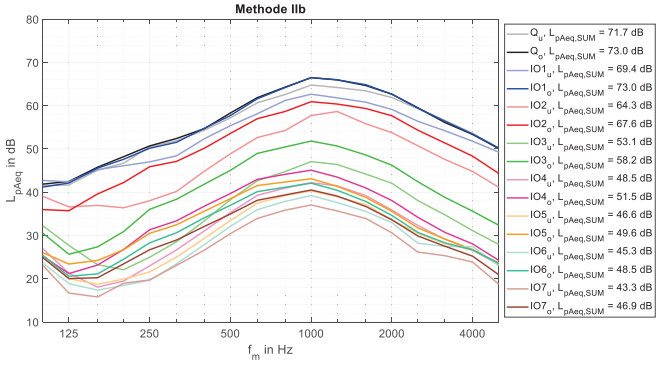

Abbildung 6: Zeitlicher Mittelwert der Schalldruckpegelspektren während der Vorbeifahrt sämtlicher Fahrzeuge gemessen an den verschiedenen oberen und unteren Emissions- und Immissionsorten

Zur Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf die Schalldämpfung durch Wald erfolgte eine separate Berechnung des mittleren Schalldruckpegels für verschiedene Wettersituationen. Dabei wurde der Fokus auf die Bewertung verschiedener Windsituationen gelegt, die verschiedenen Wetter-Clustern zugeordnet wurden (s. Abbildung 7). Es ist zu erkennen, dass die Windrichtung im gewählten Beispiel über den ganzen Tag primär aus westlicher Richtung erfolgte. Die Windgeschwindigkeit nahm dabei primär Werte von maximal 3 m/s an.

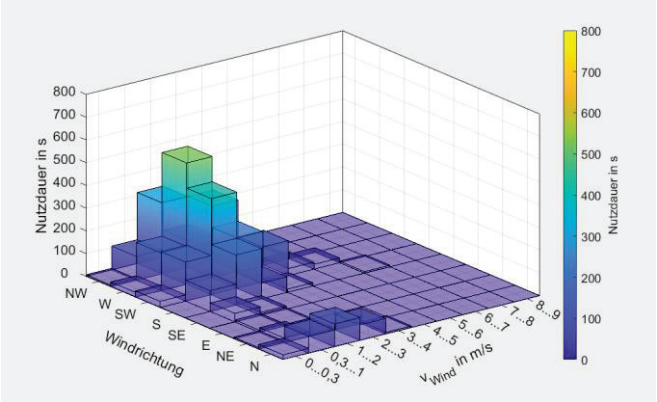

Abbildung 7: Wetter-Cluster für akustische Auswertung

Abbildung 8 zeigt den sich ergebenden zeitlichen Mittelwert des spektralen Schalldruckpegels gemessen an $IO7_o$ für die verschiedenen Windbedingungen der Wetter-Cluster aus Abbildung 7. Darin ist zuerkennen, dass es im energetisch dominanten Frequenzbereich von 600 Hz bis 3.150 Hz nahezu keine Unterschiede zwischen den betrachteten Wettersituationen gibt, außerhalb dieses Bereichs nehmen die Unterschiede zu. Unterhalb von 600 Hz kann dies auf den Einfluss der Schallreflexion am Boden zurückzuführen sein, durch die es zur partiell kohärenten Überlagerung von Direktschall und Reflexionsschall und damit zur Interferenz kommen kann. Unterhalb von 315 Hz ist davon auszugehen, dass der Verkehr keinen relevanten Schall mehr emittiert und damit kein ausreichender Signal-Rausch-Abstand vorhanden ist.

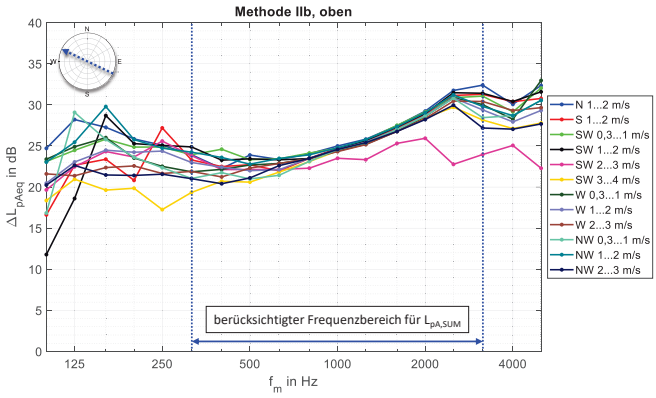

Abbildung 8: Zeitlicher Mittelwert des spektralen Schalldruckpegels gemessen an $IO7_o$ für die verschiedenen Windbedingungen der Wetter-Cluster aus Abbildung 7

Oberhalb von 2 kHz ist wiederum davon auszugehen, dass der Verkehr keinen relevanten Schall mehr emittiert. Zudem sind Störgeräusche wie Vogelgezwitscher meist ab ca. 4 kHz angesiedelt. Sie lassen sich nicht durch zeitliche Filterung eliminieren. Infolge des ausgewerteten straßenverkehrslärmspezifischen dominanten Frequenzbereichs von 315 Hz bis 3,15 kHz konnten diese jedoch durch spektrale Filterung für die folgende Gesamtpegelberechnung ausgeschlossen werden.

Abbildung 9 zeigt die gemessene Ausbreitungsdämpfung in Form der Differenz des zeitlich und spektral gefilterten Gesamt-Schalldruckpegels zwischen den verschiedenen Immissionsorten und dem unteren Emissionsort für die verschiedenen Windbedingungen der Wetter-Cluster aus Abbildung 7. Innerhalb des Walds sind Unterschiede zwischen den wetterspezifischen Pegeldifferenzen von weniger als 1 dB zu erkennen. Hinter dem Wald nehmen die Unterschiede der wetterspezifischen Ausbreitungsdämpfung geringfügig zu.

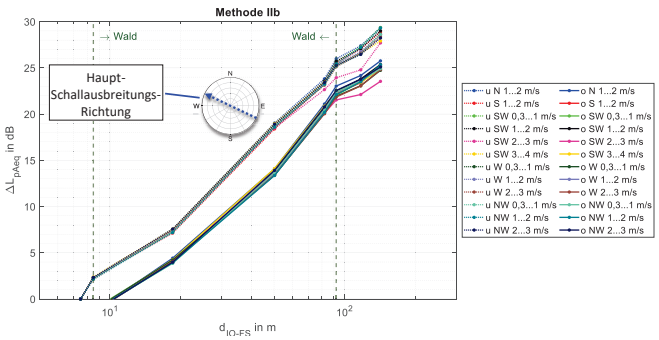

Abbildung 9: Ausbreitungsdämpfung zwischen den verschiedenen Immissionsorten und dem Emissionsort Q_u für die verschiedenen Windbedingungen der Wetter-Cluster

Die ermittelten Gesamtpegel an den Messpunkten innerhalb der verschiedenen untersuchten Wälder wurden anschließend jeweils einer linearen Regressionsanalyse unterzogen, aus der eine vegetationsspezifische Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung ermittelt wurde. Dies ist beispielhaft in Abbildung 10 für den Wald-Messort MP 10.9 gezeigt. Die Messergebnisse für die beiden Freifeld-Messorte sind zum Vergleich ebenfalls dargestellt.

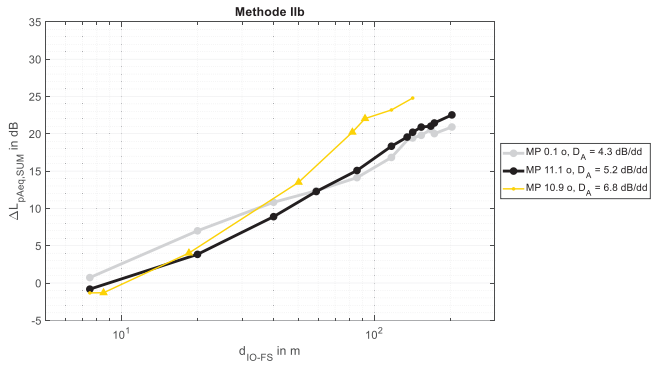

Abbildung 10: Ausbreitungsdämpfung zwischen den verschiedenen oberen Immissionsorten und dem Emissionsort Q_u sowie berechnete Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für den Wald-Messort MP 10.9 (gelb) und die beiden Freifeld-Messorte (schwarz, grau)

Es ist zu erkennen, dass die Ausbreitungsdämpfung innerhalb des Waldes gegenüber der Freifeldausbreitung stärker zunimmt. Infolgedessen nimmt die Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für den Wald-Messort größere Werte an als für die beiden Freifeld-Messorte. Hinter dem Wald (Freifeld über Feld bzw. Grasboden) sind die Verläufe der Ausbreitungsdämpfung von Freifeld- und Wald-Messorten erwartungsgemäß nahezu parallel.

Abbildung 11 zeigt mittlere Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für die verschiedenen Freifeld-Messorte (MP 0.1, MP 11.1) und Wald-Messorte an den oberen Immissionsorten. Die Gesamtpegeldarstellung zeigt, dass die Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung durch bestimmte Wälder gegenüber Freifeld je nach Referenz-Freifeld um bis zu ca. 2 dB/dd bzw. 3 dB/dd höher ausfällt. Die dazugehörigen Oktavpegel der Mittenfrequenzen 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz steigen im Allgemeinen mit der Mittenfrequenz an, wobei der Oktavpegel für 1 kHz näherungsweise dem Gesamtpegel der Ausbreitungsdämpfung gleichkommt. Für die unteren Messpositionen trifft diese Aussage für das Oktavband 500 Hz nicht immer zu, da der bodennahe Bereich eine stärkere Beeinflussung der Schallausbreitung erfährt (Interferenz).

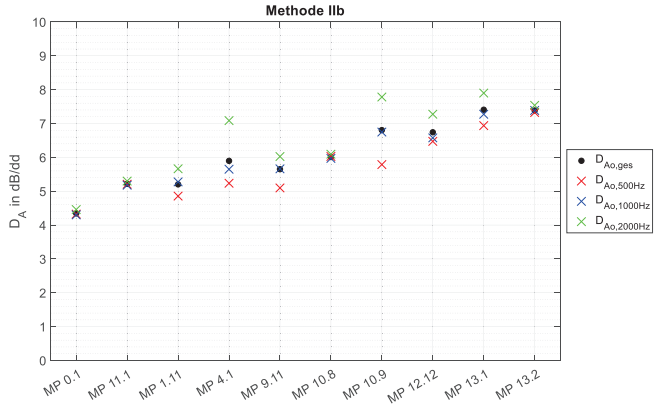

Abbildung 11: Mittlere Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für die verschiedenen Messorte an den oberen Immissionsorten; Gesamtpegel sowie Oktavpegel 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz

In Abbildung 12 ist die Schwankung und Standardabweichung der messtechnisch bestimmten mittleren Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für die verschiedenen Messorte an den oberen Immissionsorten dargestellt. Die Standardabweichung des Gesamtpegels nimmt diese insbesondere für die Wald-Messorte sehr geringe Werte von unter 0,2 dB je Abstandsverdopplung an.

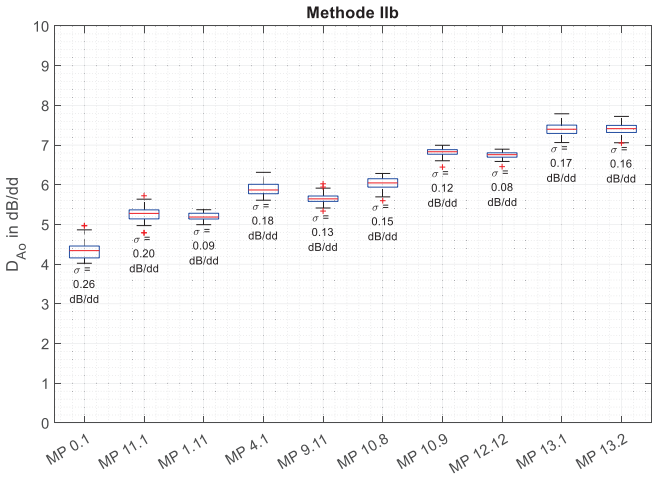

Abbildung 12: Schwankung und Standardabweichung der messtechnisch bestimmten mittleren Ausbreitungsdämpfung je Abstandsverdopplung für die verschiedenen Messorte an den oberen Immissionsorten; Gesamtpegel

Zusammenfassung und Ausblick

Die bisherigen Untersuchungen der Sommer-Messkampagne bestätigen, dass Wald- und Vegetationsstreifen neben Bundesfernstraßen bzgl. Verkehrslärm eine relevante akustische Wirksamkeit aufweisen können. Die gemessene Verbesserung der Ausbreitungsdämpfung durch Wald gegenüber Freifeld beträgt, je nach Freifeld-Referenz, 0 dB bis 2 dB je Abstandsverdopplung bzw. 1 dB bis 3 dB je Abstandsverdopplung. Für einen 100 m tiefen Wald führt dies zu einer Einfügungsdämpfung (Zusatzdämpfung) gegenüber freier Schallausbreitung von bis zu 7 dB.

Erste Winter-Messungen bestätigen grundlegend die Aussagen der Sommer-Messungen. Die verbleibenden Winter-Messungen sind für den Winter 2021/2022 geplant. Anschließend sollen Untersuchungen zur möglichen Systematisierung der erzielbaren Zusatzdämpfung in Abhängigkeit von definierten Forstparametern erfolgen, auf deren Grundlage ggf. eine vereinfachte Beschreibung zur Berücksichtigung der Zusatzdämpfung in zukünftigen Berechnungsvorschriften abgeleitet werden kann.

Anmerkung

Diesem Bericht liegen Teile des im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch das Bundesamt für Straßenwesen, unter FE 02.0423/2018/IRB laufenden Forschungsvorhabens zugrunde.

Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.