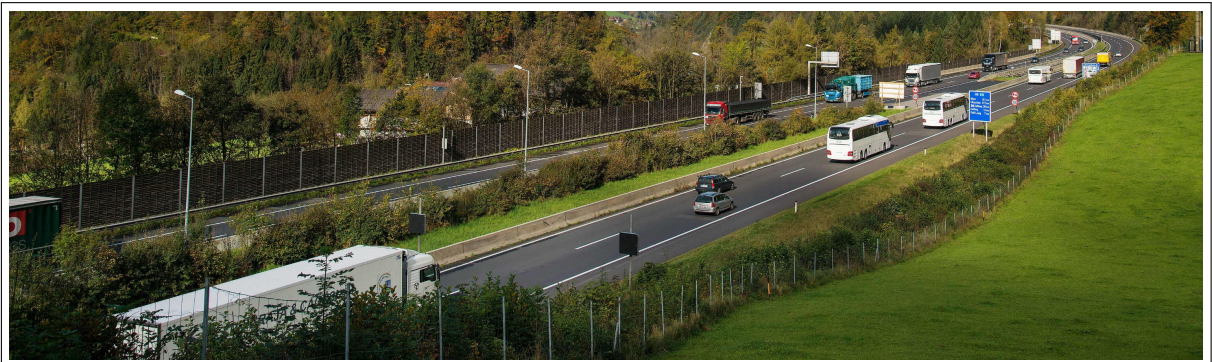


# Lärmdämpfung an Verkehrswegen durch Bewuchsstreifen

## LAUB

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung 2016  
(**VIF2016**)

Mai 2020

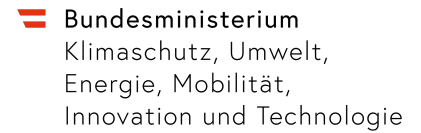




## Impressum:

### Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Klimaschutz  
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien  
Radetzkystraße 2  
1030 Wien



ÖBB-Infrastruktur AG  
Praterstern 3  
1020 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs  
Aktiengesellschaft  
Rotenturmstraße 5-9  
1010 Wien



### Für den Inhalt verantwortlich:

AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Giefinggasse 4  
1210 Wien



### Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH  
Thematische Programme  
Sensengasse 1  
1090 Wien



# Lärmdämpfung an Verkehrswegen durch Bewuchsstreifen

## LAUB

Ein Projekt finanziert im Rahmen der  
Verkehrsinfrastrukturforschung  
(VIF2016)

**Autoren:**

**Martin CZUKA BSc**

**Bernhard BAUMGARTNER MSc**

**Dott. Ing. Marco CONTER**

**Dipl.-Ing. Dr. Christian KIRISITS**

**Auftraggeber:**

Bundesministerium für Klimaschutz

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs Aktiengesellschaft

**Auftragnehmer:**

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Akustischer Einfluss von Bewuchs in Literatur und Schallausbreitungsberechnungen</b>	<b>13</b>
2.1	Erkenntnisse aus wissenschaftlicher Literatur . . . . .	13
2.2	Berücksichtigung in Schallausbreitungsberechnungsverfahren . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Messtechnische Untersuchungen an Bewuchsstreifen</b>	<b>19</b>
3.1	Auswahl repräsentativer Bewuchsstreifen und Messkonzept . . . . .	19
3.2	Akustische Messungen unter Verkehrslärm . . . . .	25
3.2.1	Differenz im Gesamtpegel . . . . .	27
3.2.2	Differenz in Oktavbandpegeln . . . . .	29
3.3	Akustische Messungen mit pseudostochastischem Rauschen . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Audiovisueller Versuch</b>	<b>34</b>
4.1	Versuchsdesign und Durchführung . . . . .	34
4.2	Versuchsergebnisse . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Schallausbreitungsberechnungen mit Bewuchsstreifen</b>	<b>42</b>
5.1	Einleitung . . . . .	42
5.2	Berechnungsmodell für Messquerschnitte . . . . .	43
5.3	Berechnungsmodell für repräsentativen Bewuchsstreifen . . . . .	53
5.4	Zusammenfassung . . . . .	55
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlungen für</b>	
	<b>Erhaltungsschnitte</b>	<b>57</b>
6.1	Zusammenführung der Ergebnisse und Diskussion . . . . .	57
6.2	Empfehlungen für Erhaltungsschnitte . . . . .	61
<b>A</b>	<b>Detailergebnisse Nah- und Fernfeldmessungen unter</b>	
	<b>Verkehrslärm</b>	<b>63</b>
<b>B</b>	<b>Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit</b>	<b>65</b>

## Tabellenverzeichnis

1	Dämpfungskoeffizient je Oktavband für den Schallausbreitungsweg $d_V$ durch dichten Bewuchs nach ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2001. . . . .	16
2	Vegetationsdämpfung je Oktavband für den Schallausbreitungsweg $d_f$ durch blickdichten Bewuchs nach ÖNORM ISO 9613-2:2008. . . . .	17
3	allgemein festgelegte Parameter für repräsentative Bewuchsstreifen. . . . .	19
4	durchgeführte Messungen zur Untersuchung von Bewuchsstreifen. $d$ stellt die Entfernung zwischen Bewuchsstreifenrand und betrachtetem Immissionspunkt dar. . . . .	21
5	Eigenschaften der ausgewählten zu untersuchenden Bewuchsstreifen. *Bewuchstiefe an Messquerschnitten der im Zuge von Abschnitt 3.2 beschriebenen Messungen. . . . .	23
6	Informationen zu den eingesetzten Fahrzeugen für CPB-Messungen. Geräuschspezifikationen basierend auf Richtlinie 70/157/EEC. Quelle: Zulassungsscheine. *nach Euro NCAP. . . . .	26
7	Über alle Messpositionen gemittelte Oktavbandpegeldifferenzen (in dB) und Gesamtpegeldifferenzen (in dB(A), letzte Spalte). . . . .	29
8	Audiovisuelle Stimuli und ihre Zusammensetzung für die untersuchten Bewuchsstreifen (BS). . . . .	36
9	Vergleich statistischer Kenngrößen aus der Verteilung der Gesamtpunkteanzahl zum Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit. . . . .	41
10	Angabe der Vegetationsdämpfung in dB je Oktavband für 15 m und 100 m Durchgang durch Bewuchs. . . . .	42
11	Vergleich Berechnung nach RVS 04.02.11 (2006) versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB). . . . .	45
12	Vergleich Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB). . . . .	46
13	Vergleich Berechnung nach RVS 04.02.11 (2006) versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB). . . . .	47
14	Vergleich Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB). . . . .	48
15	Darstellung des Einflusses der atmosphärischen Dämpfung in 100 m Abstand. . . . .	49
16	Vergleich angepasste Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB). . . . .	50
17	Vergleich angepasste Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB). . . . .	51

18	Mittelwerte der Differenzen zwischen Messung und Berechnung über alle Messpunkte.	52
19	Differenz für IPs in verschiedenen Abständen und 4 m über Boden nach Norm (alle Werte in dB).	53
20	Differenz für IPs in verschiedenen Abständen und 4 m über Boden angepasst an Messwerte (alle Werte in dB).	54

## Abbildungsverzeichnis

1	Gründe für Sicherheits- und Erhaltungsschnitte: durch Schneelast geknickte Bäume (links oben), die Sichtweite einschränkender Bewuchs (rechts oben), Böschungsbrände (links unten) und Lärmschutzwände schädigender Bewuchs (rechts unten) müssen im Zuge des Erhaltungsmanagements regelmäßig entfernt bzw. vermieden werden.	11
2	Workflow zwischen den Arbeitspaketen des Projekts und den zugehörigen Kapiteln dieses Berichtes.	12
3	akustische Einfluss eines Waldes nach [Attenborough 2007] auf die Schallausbreitung - Schallabsorption durch poröse Schicht im Bodenbereich (1) und Blätter an Bäumen (2), Streuung an Ästen und Stämmen (3).	14
4	Vegetationsdämpfung bei einem Schallausbreitungsweg von 10 m durch dichten Bewuchs nach unterschiedlichen Schallausbreitungsberechnungsmethoden. *bei rechnergestützter Anwendung. **Berücksichtigung von dichtem Bewuchs außerhalb strategischer Lärmkartierung möglich.	18
5	Aufteilung von Bewuchs im Besitz der ASFINAG nach Wuchsklasse (oben), Bestandsaufbau (mittig) und Biotoptyp (unten), gerundet auf ganze Prozentzahlen. Datenquelle: ASFINAG.	20
6	Grundlegendes Untersuchungskonzept, betrachtet aus der Vogelperspektive (links) und von der Seite (rechts).	21
7	Blick auf einen exemplarischen Bewuchsstreifen vor (links) und 6 Monate nach (rechts) dem Erhaltungsschnitt.	22

8	Umgebungsluftbild von untersuchtem Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (oben), A1 Loosdorf (mittig) und A2 Wöllersdorf (unten), jeweils rot eingefärbt. An Bewuchsstreifen 1B wurden exklusiv Schalldämmungsmessungen durchgeführt, an allen anderen CPB und SPB-Messungen mit Mikrofonpositionen entlang der Querschnitte CS1 und CS2. Fläche 1 von Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf wurde vor den ersten akustischen Messungen entfernt, damit hinter dem Streifen ausreichend freie Fläche für den Messaufbau vorhanden war. Quelle Luftbilder: Google Maps. . . . .	24
9	Aufbau für SPB und CPB-Messungen. Die Kunstkopfaufzeichnungen dienten als Basis für den audiovisuellen Versuch. Abbildung ist nicht maßstabsgetreu. . . . .	25
10	Gesamtpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Gesamtpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz $d$ für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien. . . . .	28
11	Oktavbandpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Oktavbandpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz $d$ für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien. . . . .	30
12	Messaufbau für messtechnische Untersuchungen mit pseudostochastischem Rauschen, wiedergegeben über eine Lautsprecher in den Höhen $h_s = 2,0$ m und $h_s = 0,5$ m. Die Referenzhöhe $h$ und die Referenzdistanz $d_m$ für die Mikrofone betragen 2,0 m bzw. 1,5 m. Der Zwischenmikrofonabstand $S$ misst 0,4 m. . . . .	31
13	Messung mit pseudostochastischem Rauschen nach Durchführung des Erhaltungsschnittes. . . . .	32
14	Dämpfung in Oktavbändern, ermittelt aus Verhältnis zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnitt gemessenen Impulsantworten. . . . .	33
15	Zusammensetzung eines Stimulus, bestehend aus auditivem und visuellem Reiz. . .	35
16	Versuchsszenarien vor (links) und nach (rechts) dem Erhaltungsschnitt, in welche die Versuchspersonen akustisch und visuell hineinversetzt wurden. . . . .	35

17	Eingesetzter PKW (links) und mittelschwerer LKW (rechts) zur akustischen Aufzeichnung von CPB für auditive Reize. Die visuellen Reize beinhalteten typische Fahrzeuge aus dem Fließverkehr, wie in Abbildung 18 beispielhaft dargestellt. . . . .	36
18	Exemplarisch gezeigtes Bild von Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A1 Loosdorf vor dem Erhaltungsschnitt (oben) und Momentaufnahmen vorgespielter Videos mit PKW und LKW nach dem Erhaltungsschnitt bei Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (unten). Die Qualität der hier gezeigten Bilder entspricht nicht der Originalqualität der im Versuch gezeigten visuellen Reize. . . . .	37
19	Schematisch realisierter Versuchsaufbau (links) und zugehörige GUI zu Bewertung der Stimuli (rechts). . . . .	37
20	Vergleich der Lästigkeitsbewertung für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (links) und A1 Loosdorf (rechts) vor (grün) und nach (blau) der Durchführung des Erhaltungsschnittes. Die mittlere Bewertung eines Szenarios (weißer Punkt, Median) wird von einer Box umgeben, in welcher die Hälfte alle Bewertungen liegt (Boxplot). Je dicker die violinenförmige Umrandung an einem Punkt ist, desto mehr Versuchspersonen haben in diesem Bereich ihre Bewertung abgegeben (geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichterverteilung). . . . .	39
21	Vergleich der Lästigkeitsbewertung für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (links) und A1 Loosdorf (rechts) bei jeweils gleichbleibender Audioaufnahme und alleiniger Veränderung des visuellen Reizes. Für weitere Erklärungen siehe Abbildung 20. . . . .	40
22	Gesamtpunkteanzahl beim Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit nach N.D. Weinstein. Die Box mit ihren Fühlern zeigt die Verteilung der Gesamtergebnisse aller Versuchspersonen, wobei das mittlere Gesamtergebnis (Median) durch die vertikale Linie in der Box abgebildet ist, und die Hälfte aller Ergebnisse innerhalb der Box liegen. Die beiden Enden der Fühler markieren die kleinste bzw. größte Gesamtpunkteanzahl, die von einer Versuchsperson erreicht wurden. . . . .	41
23	Geländemodell für Schallausbreitungsberechnung Wöllersdorf mit grün schraffiertem Dämpfungselement, blau schraffiertem Bodendämpfungselement und blauer Emissionslinie. . . . .	43
24	Geländemodell für Schallausbreitungsberechnung Nickelsdorf mit grün schraffiertem Dämpfungselement, blau schraffiertem bzw. rot umrandeten Bodendämpfungselement und blauer Emissionslinie. . . . .	44



25	Übersichtsdarstellung zum gewählten Referenzbeispiel. . . . .	54
26	Vergleich abgeleiteter Dämpfungsterme für Schallausbreitung durch belaubten dichten Bewuchs, aus durchgeführten Nahfeldmessungen, Fernfeldmessungen (durchgezogen) und Dämpfungstermen nach [Attenborough 2007] (strichliert). Zugrundeliegende Messverfahren sind nicht in allen Details vergleichbar, die Abbildung visualisiert daher einen qualitativen Trend. Alle für den Vergleich herangezogenen Ergebnisse der Fernfeldmessungen stammen von Immissionspunkten in 1 m Entfernung hinter dem Bewuchsstreifen. *Vegetationsdämpfung nach ISO 9613-2:2008 für Schallausbreitungswege von 20 m bis 200 m durch dichten Bewuchs. . . . .	59
27	Gesamtpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Gesamtpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz $d$ für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien und Vorbeifahrtsarten (SPB und CPB). . . . .	63
28	Oktavbandpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Oktavbandpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz $d$ für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien. . . . .	64

## 1 EINLEITUNG

Aufgrund einer Vielzahl an positiven Effekten sind entlang von Verkehrswegen Bewuchsstreifen angeordnet. Diese sind, wie in RVS 12.05.11 beschrieben, sowohl von verkehrstechnischer (als optische Führung, Blend-, Wind- und Schneeschutz) als auch bautechnischer Funktion (Schutz vor Oberflächenerosion bzw. vor Naturgefahren wie Steinschlag und Lawinen). Ebenfalls erfüllen die Bewuchsstreifen eine ökologische Rolle in Bezug auf den Artenschutz, der Eingliederung der Straße in die Landschaft sowie des Immissionsschutzes in Bezug auf die Schadstoff- und Feinstaubbelastung. In der RVS wird die Verringerung der Lärmimmission durch Bewuchsstreifen unter bestimmten Voraussetzungen angesprochen. Während in der RVS 04.02.11 (Version 2006) erst von einer relevanten lärmindernden Wirkung von Bewuchs ab einer Tiefe von 50 m ausgegangen wird, wird von Anrainern bei den regelmäßig durchgeführten Erhaltungs- und Sicherheitsschnitten der Bewuchsstreifen von einer merklichen Verschlechterung der Lärmsituation berichtet.

Hier kommt es zu einem Interessenskonflikt. Während von Seiten des Immissionsschutzes ein Bewuchs gefordert wird, gibt es eine Vielzahl an erhaltungs- und sicherheitsrelevanten Gründen für den regelmäßigen Grünschnitt (siehe auch Abbildung 1). Als Beispiele seien hier mögliche Sichtweiteneinschränkungen, erhöhte Unfallschweren bei Abkommensunfällen (Forgiving Roadsides), Verunreinigungen durch Laub im Herbst, Erhaltung des Lichtraumprofils, etc. angeführt. Ebenfalls kann es durch Bewuchs von Lärmschutzwänden zu einer Schädigung und damit zu einer Verringerung ihrer akustischen Wirksamkeit kommen.

Ziel im Projekt LAUB war es, unter Berücksichtigung der genannten Gesichtspunkte die tatsächlich empfundene Änderung der Lärmsituation zu bewerten. Dabei sollte sowohl auf Aspekte der technischen Akustik als auch der Psychoakustik eingegangen werden und somit die subjektiv empfundene Lärmbelastung und die in den vorgeschriebenen Schallausbreitungsberechnungen erhobenen Immissionswerte in Einklang gebracht werden. Konkret lassen sich aus diesen Projektzielen folgende einfache Forschungsfragen formulieren:

- Trägt ein Bewuchsstreifen entlang des hochrangigen Straßennetzes zum Lärmschutz bei?
- Beeinflusst ein Bewuchsstreifen die empfundene Lärmbelästigung durch Straßenverkehrslärm?
- Wird Schallausbreitung durch Bewuchs in aktuell gültigen Schallausbreitungsberechnungsverfahren ausreichend berücksichtigt?



**Abbildung 1: Gründe für Sicherheits- und Erhaltungsschnitte: durch Schneelast geknickte Bäume (links oben), die Sichtweite einschränkender Bewuchs (rechts oben), Böschungsbrände (links unten) und Lärmschutzwände schädigender Bewuchs (rechts unten) müssen im Zuge des Erhaltungsmanagements regelmäßig entfernt bzw. vermieden werden.**

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden im Projekt LAUB Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse der vorliegende Bericht beinhaltet. In den Kapiteln 2 bis 6, welche inhaltlich die Arbeitspakete (AP) 2 bis 5 des Projekts abdecken, werden folgende Aspekte detailliert behandelt:

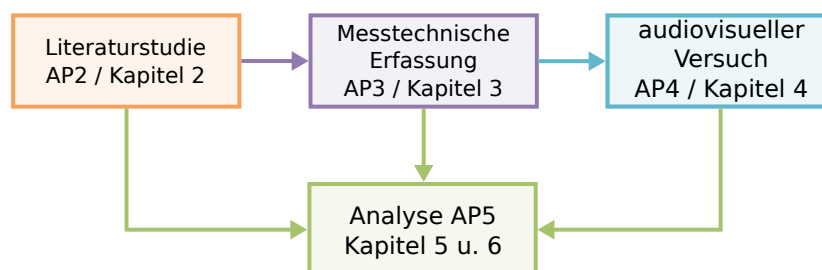
- Kapitel 2 umfasst die Ergebnisse einer Literaturstudie zum akustischen Einfluss von Bewuchs, und wie dieser in unterschiedlichen Schallausbreitungsberechnungsmethoden berücksichtigt wird.
- Im ersten Teil von Kapitel 3 werden für das österreichische hochrangige Straßennetz relevante Bewuchsarten identifiziert, sowie die durchgeführten akustischen Messungen an ausgewählten Bewuchsstreifen, welche entlang von hochrangigen Straßen verlaufen, beschrieben. Der zweite Teil des Kapitels umfasst eine eingehende Analyse der Messergebnisse nach Kriterien der technischen Akustik.
- Kapitel 4 enthält das Design des durchgeführten audiovisuellen Versuchs, dessen Ziel es war den vom Menschen psychoakustisch wahrgenommenen akustischen Einfluss von Bewuchsstreifen zu ermitteln. Darüber hinaus werden die Versuchsergebnisse und die daraus gewonnenen Erkenntnisse beschrieben.

- Im Rahmen von Kapitel 5 werden die durchgeführten Schallausbreitungsberechnungen, welche den akustischen Einfluss von Bewuchsstreifen für Immissionspunkte in bis zu 500 m Entfernung untersuchen sollten, beschrieben.
- In Kapitel 6 werden die Untersuchungsergebnisse aus den Kapiteln 2 bis 5 zusammengeführt und in ihrer Gesamtheit betrachtet. Zudem umfasst das Kapitel die daraus gewonnenen Erkenntnisse, welche als Leitfaden für Autobahnbetreiber zur Durchführung von Erhaltungsschnitten dienen.

Abbildung 2 zeigt zum besseren Verständnis den Zusammenhang zwischen den einzelnen Arbeitspaketen und den zugehörigen Kapiteln des vorliegenden Berichtes.

Bei den in Kapitel 2 und 5 beschriebenen Untersuchungen leistete das Ziviltechnikerbüro Dr. Kirisits einen maßgeblichen Beitrag. Zudem liegt die Autorenschaft von Kapitel 5 bei Dipl.-Ing. Dr. Christian Kirisits. Alle weiteren Untersuchungen sowie das Verfassen des restlichen Textes in diesem Dokument wurde vom Auftragnehmer durchgeführt.

Ergänzend zum Forschungsprojekt LAUB wurden von der ASFINAG messtechnische Untersuchungen an einem zusätzlichen Bewuchsstreifen beauftragt. Diese Zusatzbeauftragung mit der Nr. SGP-12327 bzw. Bestellnr. 301702694 erfolgte aus Aufwandsgründen, da sich die messtechnische Untersuchung eines Bewuchsstreifens als deutlich aufwändiger herausstellte (siehe auch Kapitel 3), als zu Projektbeginn von LAUB eingeplant. Damit war es möglich insgesamt 3 unterschiedliche Bewuchsstreifen zu untersuchen, wodurch die Qualität des Forschungsvorhabens erheblich gesteigert werden konnte. Die Berichtslegung für die Zusatzbeauftragung ist wie im Angebot festgehalten Teil dieses Ergebnisberichtes. Beim zusätzlich untersuchten Bewuchsstreifen handelt es sich um den Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf.



**Abbildung 2: Workflow zwischen den Arbeitspaketen des Projekts und den zugehörigen Kapiteln dieses Berichtes.**

## **2 AKUSTISCHER EINFLUSS VON BEWUCHS IN LITERATUR UND SCHALL-AUSBREITUNGSBERECHNUNGEN**

Das vorliegende Kapitel fasst die wichtigsten Erkenntnisse der wissenschaftlichen Literatur sowie den aktuellen Stand der Forschung zu akustischen Eigenschaften von Bewuchs zusammen, mit Fokus auf dessen Einfluss auf die Schallausbreitung. Zudem wird die Berücksichtigung von Bewuchs in unterschiedlichen Schallausbreitungsberechnungsmethoden gegenüber gestellt.

### **2.1 Erkenntnisse aus wissenschaftlicher Literatur**

Der Einfluss von Bewuchs auf die Schallausbreitung entlang von Straßen und Autobahnen ist Gegenstand zahlreicher Studien, die aufgrund verschiedener Messmethoden und -größen beziehungsweise jeweils lokalen Vegetationsarten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Im wissenschaftlichen Standardwerk „Predicting Outdoor Sound“ [Attenborough 2007] wird auf Basis von mehreren Studien [Price 1986, Price 1988, Huisman 1990, Huisman 1991] die akustische Wirkungsweise eines Waldes auf drei Ursachen zurückgeführt:

- der Einfluss des Bodens, welcher im wesentlichen durch die Porösität bestimmt wird. Begünstigt werden die Schallabsorptionseigenschaften des Bodens besonders, wenn loses Laub eine poröse Schicht mit niedrigem Strömungswiderstand über dem Erdboden bildet. Aus den Untersuchungen in [Price 1986] ging hervor, dass der akustische Einfluss der untersuchten Waldböden tieffrequent bis hinauf zu Frequenzen von etwa 1 kHz dominant war.
- Die Absorption von Blättern konnte als maßgeblicher akustischer Einfluss für Frequenzen über 1 kHz ausgemacht werden, der mit steigender Frequenz zunimmt.
- Die Streuung des Schalls an Ästen und Stämmen, welche laut [Price 1988] im Vergleich zu den ersten beiden Ursachen keinen dominanten Einfluss bei den untersuchten Wäldern hatte.

Die drei beschriebenen akustischen Effekte sind in Abbildung 3 schematisch skizziert. In einer Arbeit des Fraunhofer Institut für Bauphysik [Späh 2011] zeigte sich, dass sich die Schalldämmeigenschaften von untersuchten Hecken bei höheren Frequenzen verbesserten, je größer und dicker die Blätter der Hecke waren.

Die meisten Studien, die sich mit dem Einfluss eines Bewuchsstreifens auf die Schallausbreitung auseinandersetzen, geben als Bewertungsmaße Einzahlangaben in Veränderung des Gesamtschalldruckpegels in dB(A) beziehungsweise die Dämpfung pro Frequenzband an. Diese Dämpfung bei

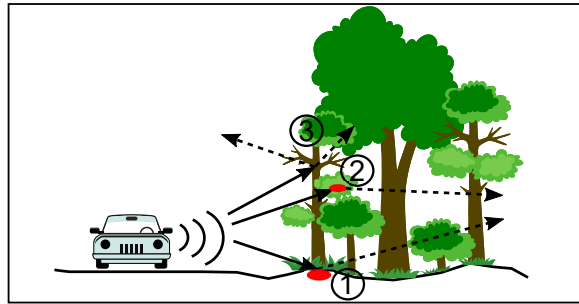


Abbildung 3: akustische Einfluss eines Waldes nach [Attenborough 2007] auf die Schallausbreitung - Schallabsorption durch poröse Schicht im Bodenbereich (1) und Blätter an Bäumen (2), Streuung an Ästen und Stämmen (3).

Vorhandensein des Bewuchses wird oft auch als Einfügedämpfung  $EA$  (Excess Attenuation) oder Vegetationsdämpfung bezeichnet. Als Schalldruckpegelmaße werden dafür der energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  oder statistische Pegelmaße herangezogen. In [Huddart 1990] konnte so bei Messungen unter Verkehrslärm bei einem 30 m tiefem Fichtenwald im Gesamtschalldruckpegel eine  $L_{A,10}$ -Reduktion von 6 dB festgestellt werden, wobei die Referenzmessungen unter vergleichbaren Bedingungen mit einer Grasfläche anstatt des Fichtenwaldes im Ausbreitungsweg durchgeführt wurden. An Messpositionen nahe hinter dem Wald traten die größten Schallpegelreduktionen auf. Eine vom dänischen Akustiklabor durchgeführte Studie [Kragh 1982] untersuchte den Einfluss von 15 - 41 m tiefen Baumgürteln und stellte eine  $L_{A,eq}$ -Reduktion von 3 dB im Gesamtpegel fest. Diese Studie bildet zudem die Basis für die Dämpfung durch Bewuchs in ÖNORM ISO 9613-2:2008. Zur Bestimmung des frequenzabhängigen akustischen Einflusses von Bewuchs wurden in [Price 1988] Dämpfungsspektren in Wäldern mit verschiedenen Biotypen ermittelt. Dafür fanden jeweils Messungen mit über einen Lautsprecher wiedergegebenem Breitbandrauschen, welches an unterschiedlichen Empfängerpositionen aufgezeichnet wurde, statt. Während die resultierende Einfügedämpfung unter 1 kHz mit Hilfe eines analytischen Modells auf die Impedanz des Bodens zurückgeführt werden konnte, stellte sich für höhere Frequenzen eine vom Biotyp abhängige Dämpfung ein. Die daraus empirisch ermittelten Zusammenhänge führen zu einer mit der Frequenz logarithmisch ansteigenden Dämpfung in dB, die sich je nach Baumart zu

$$EA = \left\{ \begin{array}{ll} 0,7 \log(f) - 2,03 & \text{Mischwald aus Nadelbäumen,} \\ 0,4 \log(f) - 1,2 & \text{Mischwald aus Eichen und Fichten,} \\ 0,26 \log(f) - 0,75 & \text{Fichte,} \end{array} \right\} \text{ für } f \geq 1kHz$$

ermitteln lässt.

Neben Untersuchungen zum reinen akustischen Einfluss von Bewuchsstreifen auf die Schallausbreitung wurden in Studien wie [Watts 1999] und [Van Renterghem 2016] die visuelle Präsenz von Bewuchs auf die psychoakustische Wahrnehmung untersucht. In der Metastudie [Van Renterghem 2019] definierten die Studienautoren Erklärungsmechanismen, die einen möglichen Einfluss der audiovisuellen Interaktion beschreiben. Für die (Nicht)-Sichtbarkeit der Schallquelle existieren zwei konkurrierende Hypothesen, die in [Van Renterghem 2019] als *audiovisuelle Kongruenz* und *Aufmerksamkeitsfokussierung* bezeichnet werden. Erstere geht davon aus, dass akustischer und visueller Reiz übereinstimmen sollen. Ist dies nicht der Fall, kommt es zu einer potentiell negativen Empfindung, besonders bei einer akustisch „lauten“, nicht sichtbaren Schallquelle. Bei der *Aufmerksamkeitsfokussierung* wird davon ausgegangen, dass eine Kombination aus visuellem und akustischen Reiz, hervorgerufen von einer Quelle, eine höhere Aufmerksamkeit zur Folge hat. Dieses Konzept ist im Feld der Sprachverständlichkeit weit verbreitet. [Van Renterghem 2019] kommt bei den betrachteten Studien zur Schlussfolgerung, dass eine am Immissionspunkt leise wahrgenommene Schallquelle möglicherweise verdeckt werden sollte, eine am Immissionspunkt laut wahrgenommene Schallquelle soll hingegen nach dem Prinzip der *audiovisuellen Kongruenz* sichtbar bleiben. Der zweite Erklärungsmechanismus wird nach [Van Renterghem 2019] als der *restaurative Effekt* von Bewuchs bezeichnet, wenn dieser visuell (unabhängig von der Schallquellensichtbarkeit) vorhanden ist. Mehrere in [Van Renterghem 2019] untersuchte Studien bestätigen in diesem Zusammenhang eine Reduktion der empfundenen Lärmbelastigung, wenn zum Beispiel beim Blick aus dem Fenster visuell ansprechende Vegetation sichtbar ist.

## 2.2 Berücksichtigung in Schallausbreitungsberechnungsverfahren

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Studien werden zum Teil in Schallausbreitungsberechnungsmethoden und ihren zugehörigen Richtlinien und Normen berücksichtigt. Es folgt dazu eine Auflistung nationaler und internationaler Richtlinien und Normen, sowie deren Berücksichtigung von Bewuchs auf die Schallausbreitung.

### **RVS 04.02.11, Version 2006**

In dieser nationalen Richtlinie wird Dämpfung durch dichten Bewuchs berücksichtigt. Bei der nicht-rechnergestützten Betrachtung des A-bewerteten Schalldruckpegels findet dafür im ersten Schritt eine Addition aller Distanzen durch dichten Bewuchs, die sich im Ausbreitungsweg zwischen Schallquelle und Immissionspunkt befinden, statt. Damit der Bewuchs berücksichtigt wird, muss er mindestens

1 m höher als der angenommene Schallausbreitungsweg sein. Für jede vollen 50 m Ausbreitungsweg durch Bewuchs wird eine Dämpfung von 1 dB angesetzt, wobei die maximal anwendbare Dämpfung mit 4 dB begrenzt ist. Im Fall einer rechnergestützten Ermittlung der Schallausbreitung in Oktavbändern wird Bewuchs wie ÖAL-Richtlinie Nr. 28 behandelt.

### ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2001

Analog zu RVS 04.02.11 Version 2006, werden in dieser nationalen Richtlinie alle Wege durch dichten Bewuchs im Schallausbreitungspfad zu  $d_V$  aufaddiert. Dabei wird ein gekrümmter Ausbreitungspfad angenommen, welcher bei Anwesenheit von Abschirmkanten entsprechend nach oben verschoben wird. Die Pegeleinfluss durch Bewuchs  $\Delta L_V$  ergibt sich über

$$\Delta L_V = -n_V \cdot \alpha_V \quad \text{mit} \quad n_V = \frac{d_V}{50}. \quad (1)$$

Für den Dämpfungskoeffizient  $\alpha_V$  kommen die in Tabelle 1 aufgelisteten Werte zur Anwendung.  $n_V$  ist mit einem Maximum von 4 begrenzt, was einem Ausbreitungsweg von  $d_V = 200$  m entspricht.

### ÖNORM ISO 9613-2:2008

Liegt Schallausbreitung durch Bewuchs vor, wird er in dieser Norm in Form von Dämpfungstermen dann berücksichtigt, wenn der Bewuchs die Sicht entlang des Schallausbreitungsweges bereits auf kurze Entfernung vollständig versperrt. Der effektive Schallausbreitungsweg durch Bewuchs  $d_f$  wird anhand eines gekrümmten Pfades zwischen Schallquelle und Immissionspunkt mit einem Radius von 5 km ermittelt. Ab  $d_f \geq 10$  m kommen die Dämpfungsterme aus Tabelle 2 zum Einsatz. Beträgt  $d_f$  mehr als 200 m, so wird der effektive Schallausbreitungsweg  $d_f$  auf 200 m begrenzt.

### Richtlinie 2015/996 EU (CNOSSOS-EU)

Während im Projekt CNOSSOS-EU Vegetationsdämpfung diskutiert wurde, findet sich im finalen Richtlinienentwurf keine Berücksichtigung für die Vegetationsdämpfung.

Oktavband- mittenfrequenz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
$\alpha_V$ (dB)	0	0	1	1	1	1	2	3

**Tabelle 1: Dämpfungskoeffizient je Oktavband für den Schallausbreitungsweg  $d_V$  durch dichten Bewuchs nach ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2001.**



Oktavband- mittenfrequenz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
$10\text{m} \leq d_f \leq 20\text{m}$ (dB)	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0
$20\text{m} \leq d_f \leq 200\text{m}$ (dB/m)	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

**Tabelle 2: Vegetationsdämpfung je Oktavband für den Schallausbreitungsweg  $d_f$  durch blickdichten Bewuchs nach ÖNORM ISO 9613-2:2008.**

### RVS 04.02.11, Version 2019

Die aktuell gültige Version von RVS 04.02.11 setzt die Richtlinie 2015/996 EU auf nationaler Ebene zur Berechnung von betriebsbedingten Schallemissionen von Straßen und für Lärmschutzmaßnahmen um. Da Schallausbreitung durch Bewuchs in Richtlinie 2015/996 nicht berücksichtigt wird, verweist RVS 04.02.11 für Schallausbreitung durch dichten Bewuchs auf die aktuell gültige ÖAL-Richtlinie Nr. 28.

### ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2019

Die Richtlinie behandelt die Dämpfung des Schalls von bodengebundenen Quellen bei Ausbreitung im Freien und setzt den entsprechenden Teil von Richtlinie 2015/996 EU auf nationaler Ebene um. Außerhalb des Anwendungsgebiets der strategischen Lärmkartierung lässt die ÖAL-Richtlinie die Möglichkeit offen, Dämpfung durch Bewuchs nach ISO 9613-2:2008 zu berücksichtigen.

### sonX

Das Schallausbreitungsberechnungsverfahren aus der Schweiz lehnt sich an die Vegetationsdämpfung nach ISO 9613-2 an. Dabei werden vereinfacht die Dämpfungsterme der jeweiligen Oktavbänder gleichwertig für die entsprechenden Terzbänder verwendet. Eine Dämpfung wird erst ab 10 m Durchtritt des Schallausbreitungsweges durch die Vegetation berücksichtigt. Dazu findet sich ein weiterer Kommentar, wonach bei Typen wie Gebüsch, Baumschulen, Obstanlagen oder Reben, die Dichte des Bewuchses nicht für eine Dämpfung ausreicht und keine Bewuchsdämpfung verwendet wird. Bei offenem Wald wird eine um 50 % reduzierte Bewuchsdämpfung ausgewiesen.

Zudem findet eine Berücksichtigung von Reflexionen an Waldrändern sowohl durch dicke Baumstämme als auch Baumkronen statt. Dazu werden Reflexionen der Kugelwellen am Zylinder (Stamm) oder der Kugel (Baumkrone) in einem Modell dargestellt. Hierfür werden entsprechend der Theorie für Streuung von Kugelwellen über Hankel- bzw. Besselfunktionen Reflexionskoeffizienten ermittelt.

## Nord 2000

Während die Richtlinie Nord 2000 (aus 2006) keine Vegetation berücksichtigt, wird im Nordtest Vorschlag aus 2014 für ein submodel 10 eine „scattering zone“ berücksichtigt. Dabei gehen die Dichte, die mittlere Stammdicke, mittlere Höhe und der Absorptionskoeffizient von Bäumen ein.

## CONCAWE

Das Modell CONCAWE aus den 1980er Jahren wurde vor allem für Industrielärm verwendet. Es verweist bezüglich Vegetationsdämpfung auf einen Korrekturfaktor von  $K_V = 0.01 f^{\frac{1}{3}} d$  wobei mit  $f$  die Frequenz und mit  $d$  die Distanz durch einen Bewuchsgürtel bezeichnet wurde. Allerdings wird diese sehr vereinfachte Korrektur kritisch diskutiert und keine generelle Anwendung empfohlen.

Der Vergleich der aufgelisteten Richtlinien lässt erkennen, dass Bewuchs in der Regel in Form von Dämpfung des Schalls in Ausbreitungsrichtung berücksichtigt wird. Eine Gegenüberstellung der mit den relevantesten Verfahren erhaltenen Dämpfungsterme für 10 m Ausbreitungsweg durch dichten Bewuchs in Abbildung 4 zeigt zudem, dass die Mehrheit der Verfahren Dämpfung durch Bewuchs wie in ÖNORM ISO 9613-2:2008 beschrieben behandelt. Diskrepanzen zwischen aktueller (messtechnisch basierter) Forschung und Berechnungsvorschriften sind darin begründet, dass gerade schmale Bewuchsstreifen nicht als permanent angesehen werden können [Peng 2014]. Daher sind in Berechnungsvorschriften zumeist konservative Werte enthalten [Attenborough 2007].

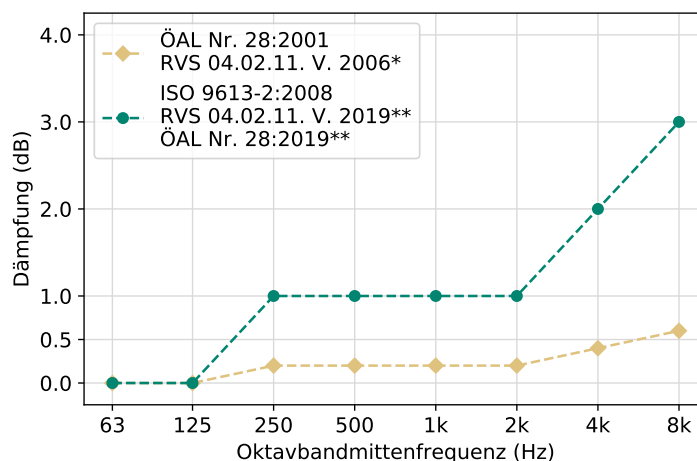


Abbildung 4: Vegetationsdämpfung bei einem Schallausbreitungsweg von 10 m durch dichten Bewuchs nach unterschiedlichen Schallausbreitungsberechnungsmethoden. \*bei rechnergestützter Anwendung. \*\*Berücksichtigung von dichtem Bewuchs außerhalb strategischer Lärmkartierung möglich.

### 3 MESSTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN AN BEWUCHSSTREIFEN

Im Rahmen des Forschungsprojekts LAUB wurde zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Bewuchsstreifen eine Reihe messtechnischer Untersuchungen durchgeführt. Mit Hilfe eines detaillierten Auswahlverfahrens fand eine Selektion von Bewuchsstreifen statt, die als repräsentativ für das hochrangige Straßennetz in Österreichische gelten und an Autobahnen liegen. Bei den selektierten Bewuchsstreifen wurden jeweils vor und nach dem Erhaltungsschnitt akustische Messungen unter einem vorgegebenen Messsetup durchgeführt, um anschließend die Ergebnisse vor und nach dem Schnitt in Relation zu setzen. Somit war es möglich, den Einfluss der Bewuchsstreifen auf die Schallausbreitung zu bestimmen.

Das vorliegende Kapitel beinhaltet sowohl die Beschreibung des Auswahlprozesses für repräsentative Bewuchsstreifen als auch der durchgeführten akustischen Messungen. Zudem werden die Ergebnisse der akustischen Messungen eingehend nach Kriterien der technischen Akustik analysiert.

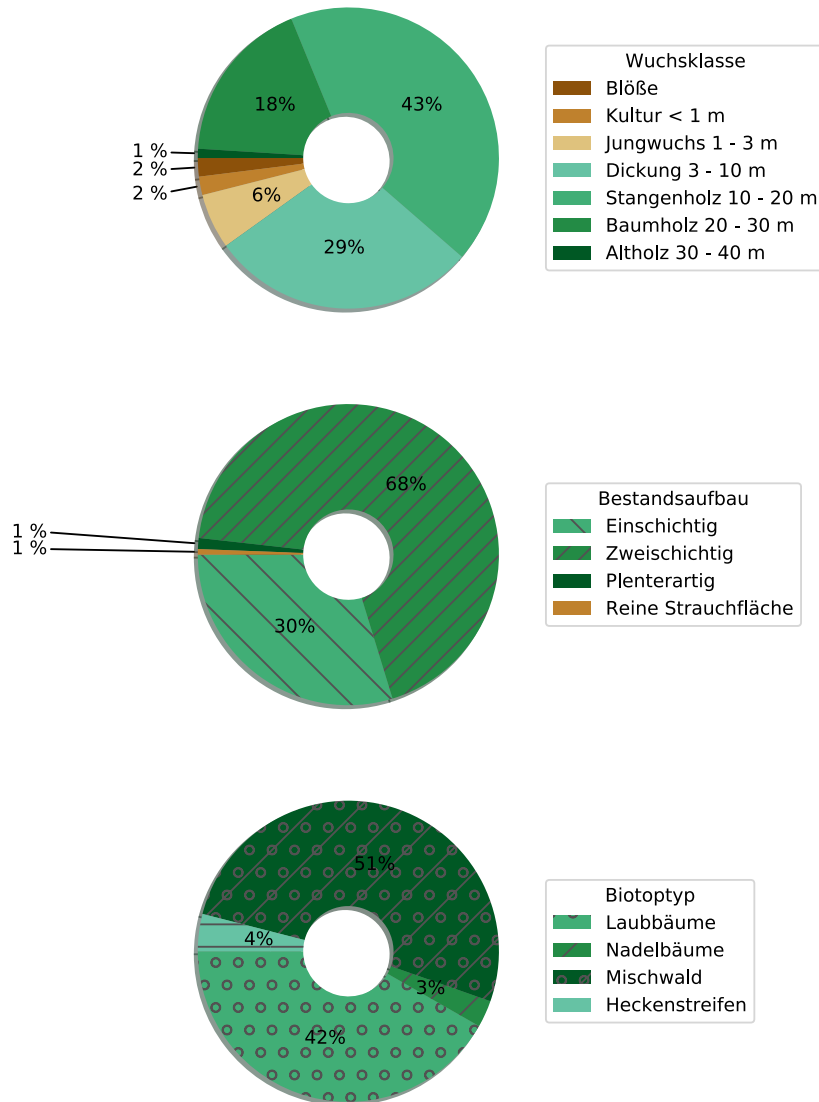
#### 3.1 Auswahl repräsentativer Bewuchsstreifen und Messkonzept

Um Bewuchs zu untersuchen, der in seinen botanischen Eigenschaften repräsentativ für Bewuchsstreifen an österreichischen Straßenverkehrswegen ist, stellte der Auftraggeber zur Auswahl geeigneter Bewuchsstreifen einen Zugang zu seinem Baumkataster zur Verfügung. Dieser Kataster beinhaltet grundlegende Informationen über alle mit Bäumen und Sträuchern bewachsenen Flächen der ASFINAG. Dazu gehören etwa der Biotoptyp, die aktuelle Wuchshöhe sowie die Dichte des Bewuchses. Eine aus dem Kataster erstellte Zusammensetzung des Bewuchses aus dem Jahr 2018 ist in Abbildung 5 dargestellt. Auf Basis dieser Zusammensetzung wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber folgende Eigenschaften für zu untersuchende Bewuchsstreifen festgelegt:

Parameter	Eigenschaft
Wuchsklasse	Dickung (3 - 10 m), Stangenholz (10 - 20 m)
Bestandsaufbau	einschichtig, zweischichtig
Biotoptyp	Mischwald, Laubbäume
durchschnittliche Bewuchstiefe $D$	12 m

**Tabelle 3: allgemein festgelegte Parameter für repräsentative Bewuchsstreifen.**

Damit der Einfluss auf die Schallausbreitung unmittelbar hinter als auch in größerer Entfernung hinter dem Bewuchsstreifen messtechnisch ermittelt werden konnte, fanden akustische Messungen an



**Abbildung 5: Aufteilung von Bewuchs im Besitz der ASFINAG nach Wuchsklasse (oben), Bestandsaufbau (mittig) und Biotoptyp (unten), gerundet auf ganze Prozentzahlen. Datenquelle: ASFINAG.**

unterschiedlichen Immissionspunkten statt. Wie Abbildung 6 dargestellt, wird die Entfernung zwischen der Bewuchsstreifenbegrenzung und Immissionspunkt fortwährend mit  $d$  bezeichnet. Der akustische Effekt unmittelbar hinter dem Bewuchsstreifen wurde zum einen mit Messungen angelehnt an das in-situ Messverfahren nach ÖNORM EN 1793-6 für Lärmschutzwände bestimmt. Dabei kam ein Lautsprecher mit wiedergegebenen pseudostochastischem Rauschen (Maximum length Sequence - MLS) als Schallquelle zum Einsatz. Zum anderen wurde der Einfluss an Immissionspunkten unmittelbar hinter des Bewuchsstreifens mit statistischen Vorbeifahrtmessungen (statistical Pass-by

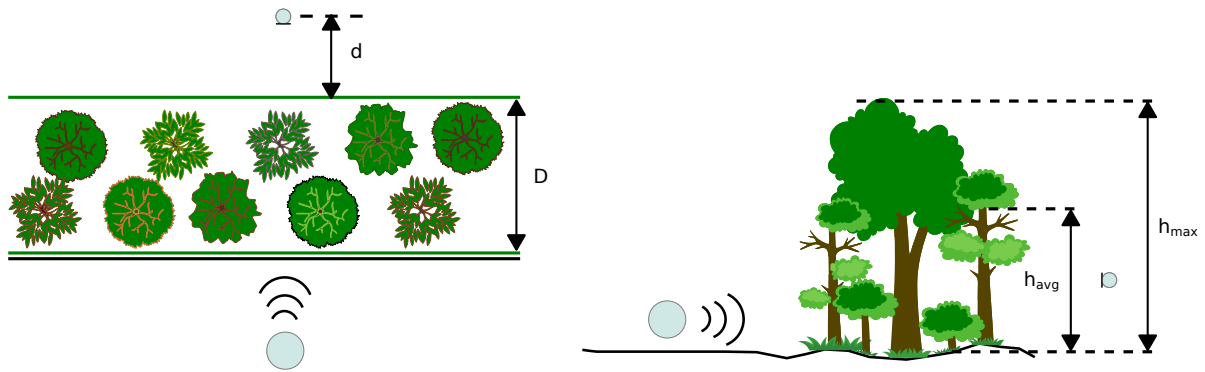


Abbildung 6: Grundlegendes Untersuchungskonzept, betrachtet aus der Vogelperspektive (links) und von der Seite (rechts).

- SPB) und kontrollierten Vorbeifahrtsmessungen (controlled Pass-by - CPB), angelehnt an die Norm ISO 11819-1, ermittelt. Neben Mikrofonen unmittelbar hinter des Bewuchses dienten in größerer Entfernung platzierte Mikrophone zur messtechnischen Bestimmung des akustischen Einflusses für Immissionspunkte in größerer Entfernung.

Zusätzlich wurde bei diesen Messungen unter Verkehrslärm ein binauraler Kunstkopf zur Aufnahme von pegel- und gehörrichtigen Audioaufnahmen als Basis für den audiovisuellen Versuch eingesetzt. Detaillierte Beschreibungen der beiden messtechnischen Untersuchungen sind Teil der Unterkapitel 3.2 und 3.3. Tabelle 4 enthält eine kompakte Auflistung der durchgeführten Messungen.

Bei allen messtechnischen Untersuchungen kam das gleiche Grundkonzept zum Einsatz. An jedem ausgewählten Bewuchsstreifen wurden akustische Messungen mit einem festgelegten Messaufbau

	Messungen hinter Bewuchs	Messungen unmittelbar hinter Bewuchs	Messungen f. audiovisuellen Versuch
Schallquelle	Straßenverkehrslärm	Lautsprecher mit MLS	einzelne KFZ-Vorbeifahrten
Messmethode	SPB- und CPB-Messungen angelehnt an ISO 11819-1	Schalldämmungsmessungen angelehnt an ÖNORM EN 1793-6	visuelle und binaurale Aufzeichnung von CPB
Immissionspunkt hinter dem Bewuchsstreifen	$1 \text{ m} \leq d \leq 25 \text{ m}$	$1 \text{ m} \leq d \leq 4,5 \text{ m}$	$d = 6 \text{ m}$
Messgröße	Schalldruckpegel über Vorbeifahrten	Impulsantworten	visuelle und Audioaufnahme

Tabelle 4: durchgeführte Messungen zur Untersuchung von Bewuchsstreifen.  $d$  stellt die Entfernung zwischen Bewuchsstreifenrand und betrachtetem Immissionspunkt dar.

und gleicher Prozedur vor und nach dem Erhaltungsschnitt durchgeführt. Anschließend fand ein Vergleich der Ergebnisse vor und nach dem Erhaltungsschnitt statt. Im Zuge eines Erhaltungsschnittes wird der gesamte Bewuchs in einem festgelegten Bereich auf Stock geschnitten. Der Blick auf einen exemplarischen Bewuchsstreifen unmittelbar vor und 6 Monate nach dem Erhaltungsschnitt ist in Abbildung 7 dargestellt.

Auf Basis der in Tabelle 3 festgelegten Anforderungen für zu untersuchende Bewuchsstreifen wäre aus akustischer Sicht jeder Bewuchs geeignet, der diese Eigenschaften aufweist. Um jedoch eine höchstmögliche Repräsentativität der Untersuchungen für das hochrangige Straßennetz zu garantieren, wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber vereinbart, ausschließlich Bewuchsstreifen entlang des hochrangigen Straßennetzes in Österreich für die Untersuchungen auszuwählen.

Neben den allgemeinen Anforderungen aus Tabelle 3 ergaben sich aus akustischer Sicht eine Reihe weiterer Voraussetzungen, welche die Bewuchsstreifenauswahl maßgeblich beeinflussten. Sie berücksichtigen zudem Aspekte zur gefahrlosen Durchführung der Messungen entlang von hochrangigen Straßen. Diese Zusatzvoraussetzungen beinhalten

- einen geraden und ebenen Autobahnverlauf,
- weitgehend windstilles ( $\leq 2$  m/s) und trockenes Wetter während der Messung,
- ähnliches Wetter bei Messungen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes,
- leichter Zugang zur Fläche vor und hinter des Bewuchsstreifens,
- gleichmäßiger Bewuchs auf einer ebenen Fläche,
- kein zusätzlicher Umgebungslärm (z.B. angrenzende Landstraße, Industrielärm).



**Abbildung 7: Blick auf einen exemplarischen Bewuchsstreifen vor (links) und 6 Monate nach (rechts) dem Erhaltungsschnitt.**

Des weiteren sollte der Bewuchsstreifen zur Durchführung von SPB und CPB-Messungen folgende Eigenschaften aufweisen:

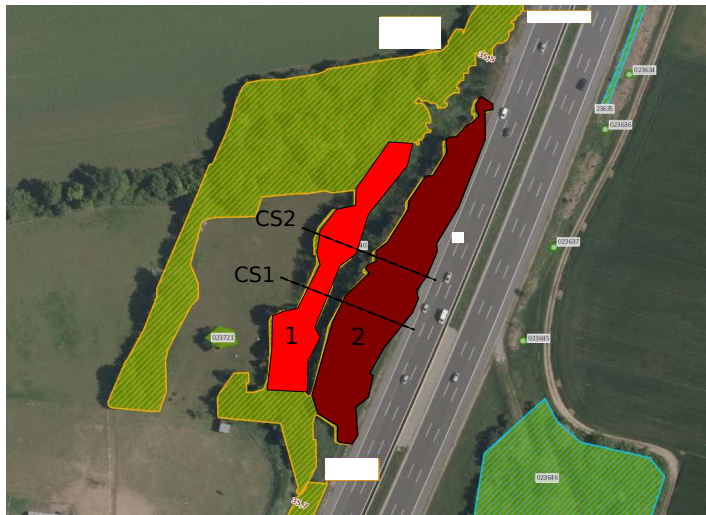
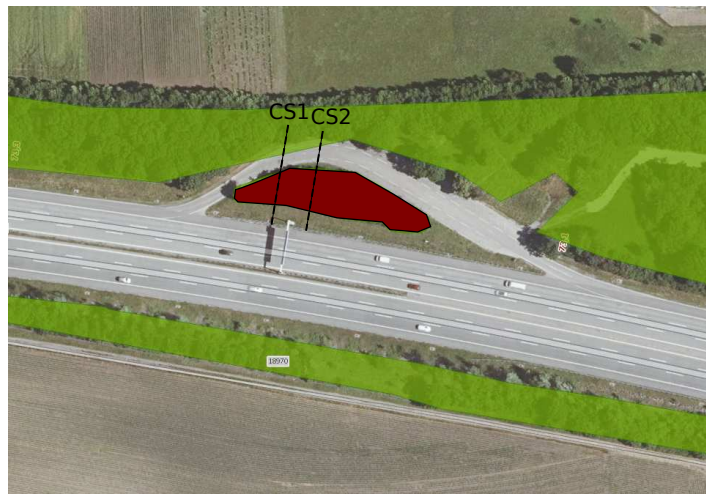
- eine Länge von  $\geq 150$  m, wenn möglich  $\geq 300$  m,
- ausreichend freie Fläche hinter dem Streifen ( $\geq 25$  m),
- ein homogenes Verkehrsaufkommen.

Unter Berücksichtigung all dieser Anforderungen wurden in einem mehrstufigen Auswahlverfahren potentiell geeignete Bewuchsstreifen ermittelt. Mit Hilfe des ASFINAG Baumkatasters und Geoinformationssystemen fand eine erste Vorselektion von insgesamt 58 potentiellen Messstellen statt. Diese wurden im Zuge einer Besichtigung vor Ort begutachtet. Aus den aus akustischer Sicht 10 geeignetsten Bewuchsstreifen wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber 3 zu untersuchende Bewuchsstreifen ausgewählt. Deren Eigenschaften sind in Tabelle 5 aufgelistet. Wie aus den jeweiligen Luftbildern der 3 ausgewählten Bewuchsstreifen in Abbildung 8 entnommen werden kann, liegen alle Streifen an regulären oder aufgelassenen Parkplätzen entlang von Autobahnen.

Die Auswahl geschah mit Rücksicht auf die Zugänglichkeit des Bewuchsstreifens, da diese, abseits von Rastplätzen, entlang von Autobahnen in der Regel mit einem Wildschutzzaun von der Umgebung getrennt sind.

Parameter	Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf	Bewuchsstreifen A1 Loosdorf	Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf
durchschnittliche ( $h_{avg}$ ) / maximale ( $h_{max}$ ) Wuchshöhe	3 m / 5 m	6 m	7 m / 12 m
Bestandsaufbau	einschichtig	zweischichtig	einschichtig
Biototyp	Laubbäume	Mischwald	Laubbäume
minimale / maximale Bewuchstiefe $D$	10 m / 18 m	5 m / 15 m	6 m / 27 m
Bewuchstiefe $D$ an Messquerschnitten* CS1 / CS2	18 m / 18 m	13 m / 15 m	27 m / 22 m
Bewuchsstreifenlänge	220 m	60 m	165 m

**Tabelle 5: Eigenschaften der ausgewählten zu untersuchenden Bewuchsstreifen. \*Bewuchstiefe an Messquerschnitten der im Zuge von Abschnitt 3.2 beschriebenen Messungen.**



**Abbildung 8: Umgebungsluftbild von untersuchtem Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (oben), A1 Loosdorf (mittig) und A2 Wöllersdorf (unten), jeweils rot eingefärbt. An Bewuchsstreifen 1B wurden exklusiv Schalldämmungsmessungen durchgeführt, an allen anderen CPB und SPB-Messungen mit Mikrofonpositionen entlang der Querschnitte CS1 und CS2. Fläche 1 von Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf wurde vor den ersten akustischen Messungen entfernt, damit hinter dem Streifen ausreichend freie Fläche für den Messaufbau vorhanden war. Quelle Luftbilder: Google Maps.**



### 3.2 Akustische Messungen unter Verkehrslärm

Bei jedem im vorherigen Abschnitt final ausgewählten Bewuchsstreifen (siehe Tabelle 5 und Abbildung 8) wurden akustische Vorbeifahrtsmessungen durchgeführt. Diese sollen Aufschluss über den Einfluss des Bewuchsstreifens auf die Schallausbreitung geben. Zur Durchführung von SPB und CPB-Messungen wurde der Messaufbau in ISO 11819-1 angepasst und um vier weitere Mikrofonpositionen hinter dem Bewuchsstreifen erweitert. Die in ISO 11819-1 festgelegte Mikrofonposition in einer Höhe von 1,2 m mit einem Abstand von 7,5 m zur Mitte des 1. Fahrstreifens befand sich vor dem Bewuchsstreifen. Sie war als Referenz zur Kalibrierung der Messungen vorgesehen, und wurde je nach vorliegenden geographischen Gegebenheiten in Abstand und Höhe angepasst. Die insgesamt 5 Mikrofonpositionen waren, wie in Abbildung 9 gezeigt, in einer Linie zu einem Querschnitt des Bewuchsstreifens angeordnet. Jeder Bewuchsstreifen wurde jeweils zeitgleich an zwei Querschnitten (CS1 und CS2) untersucht. Zudem diente ein binauraler Kunstkopf zur Aufzeichnung von pegel- und gehörrichtigen CPBs, die primär als Quellmaterial für den audiovisuellen Versuch dienten. Für die

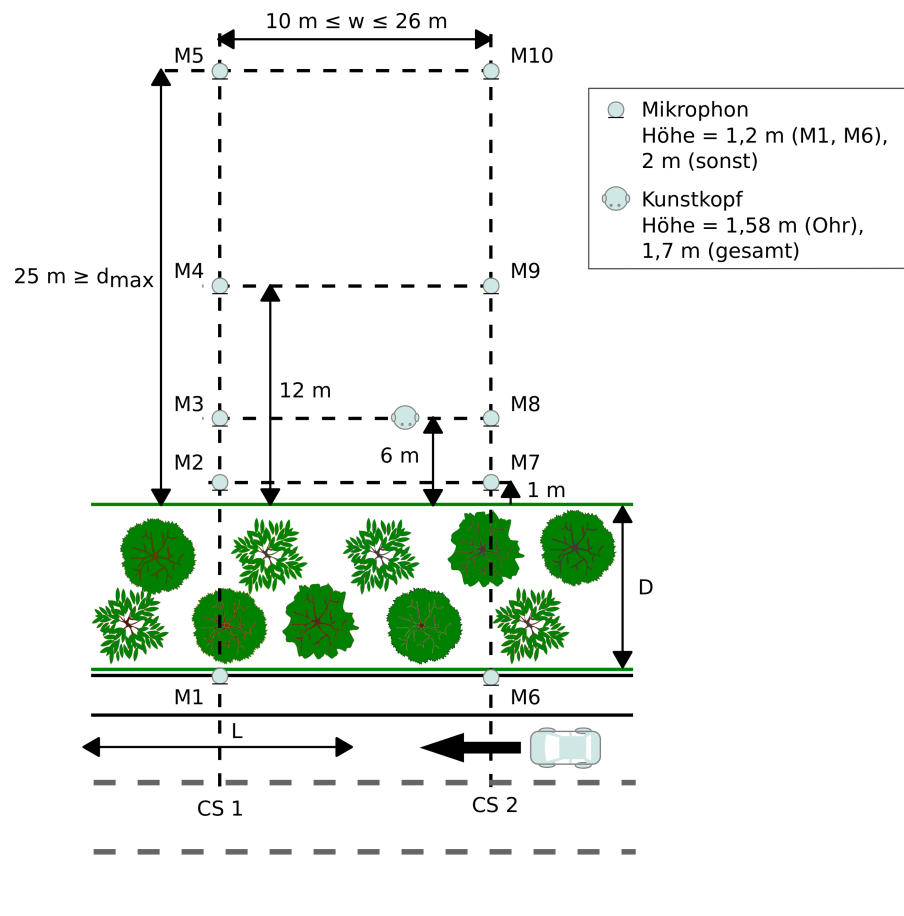


Abbildung 9: Aufbau für SPB und CPB-Messungen. Die Kunstkopfaufzeichnungen dienten als Basis für den audiovisuellen Versuch. Abbildung ist nicht maßstabsgetreu.

Durchführung von CPBs kamen ein Kompakt-SUV sowie ein zweiachsiger mittelschwerer LKW zum Einsatz, die beide über einen Tempomaten verfügten. Die KFZ hatten jeweils bei den Messungen vor und nach der Durchführung des Erhaltungsschnittes die gleiche Bereifung. Eine Auflistung relevanter Eigenschaften der Fahrzeuge kann Tabelle 6 entnommen werden.

Für die in den nächsten Unterkapiteln diskutierten Ergebnisse wurden die Vorbeifahrtsmessungen nach folgendem Verfahren ausgewertet. Alle in diesem Absatz angeführten Kriterien gelten für den Gesamtschalldruckpegel. Für die Selektion von akustisch ausreichend isolierten Vorbeifahrten musste eine Vorbeifahrt als Grundvoraussetzung die in ISO 11819-1 vorgeschriebene Minstdifferenz von 6 dB zwischen maximalem A-bewerteten Vorbeifahrtspegel und A-bewertetem Schalldruckpegel vor und nach der Vorbeifahrt an den Referenzmikrofonen (M1 und M6 in Abbildung 9) erfüllen. Diese Grundvoraussetzung wurde auf eine Minstdifferenz von 10 dB erhöht und musste auch bei Mikrofonen unmittelbar hinter dem Bewuchsstreifen (M2, M3 und M7, M8) eingehalten werden. Da mit zunehmender Entfernung zwischen Schallquelle und Messposition eine Minstdifferenz von 10 dB selbst bei augenscheinlich komplett isolierten Vorbeifahrten de facto nicht mehr einhaltbar war, wurde die zu erfüllende Minstdifferenz für die Mikrophone M4 und M9 auf 3 dB herabgesetzt. Für die am weitesten entfernten Mikrophone M6 und M10 musste diese Differenz nicht mehr erfüllt werden. Das angewandte Selektionsverfahren für Vorbeifahrten hat damit zur Folge, dass die Ergebnisse trotz größerer Messentfernungen sinnvoll analysierbar sind, die Messunsicherheit jedoch mit steigender Entfernung zunimmt.

Neben dem beschriebenen Selektionsverfahren war in der ursprünglichen Auswertungsprozedur geplant, die Ergebnisse jeder einzelnen Vorbeifahrt in Relation zu den Ergebnissen der Vorbeifahrt an den Referenzmikrofonen (M1, M6) zu setzen. Da sich in unmittelbarer Nähe der Mikrofonpositionen M1 und M6 mehrheitlich Leitplanken befanden, welche die Messergebnisse an diesen Positionen nachweislich beeinflussten, flossen die Referenzmikrophone nicht in die Auswertung mit ein.

Fahrzeug	Leerlaufgeräusch in dB(A)	Fahrgeräusch in dB(A)	Eigengewicht leer in t	Fahrzeugklasse
Volvo XC60	76	75	1,7	Kompakt-SUV*
MoSeS	88	80	13,3	Spezialkraftwagen

**Tabelle 6: Informationen zu den eingesetzten Fahrzeugen für CPB-Messungen. Geräuschspezifikationen basierend auf Richtlinie 70/157/EEC. Quelle: Zulassungsscheine. \*nach Euro NCAP.**

Um den Einfluss ungleicher Umweltbedingungen wie Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit zwischen den Messungen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes zu berücksichtigen, wurde

- die Emission der Vorbeifahrten mit Hilfe der Fahrbahntemperatur korrigiert,
- dem Einfluss der Absorption bei Schallausbreitung in der Atmosphäre nach ISO 9613-1 Rechnung getragen.

Die diskutierten Ergebnisse werden in der Differenz der mittleren Gesamtpegeldifferenz  $\Delta \overline{L_{A,eq}}$  zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes ausgedrückt. Positive Vorzeichen bedeuten daher, dass nach Durchführung des Erhaltungsschnittes im Mittel größere Vorbeifahrtspegel ermittelt wurden. Als Vorbeifahrtspegel wird in diesem Zusammenhang der  $L_{A,eq}$  über eine KFZ-Vorbeifahrt bestimmt, wobei sich die Integrationszeitspanne über den oben beschriebenen 10-dB Abfall, oder über die festgelegte Maximalzeitspanne von 10 s, je nachdem welche Zeitspanne kürzer war, erstreckte.

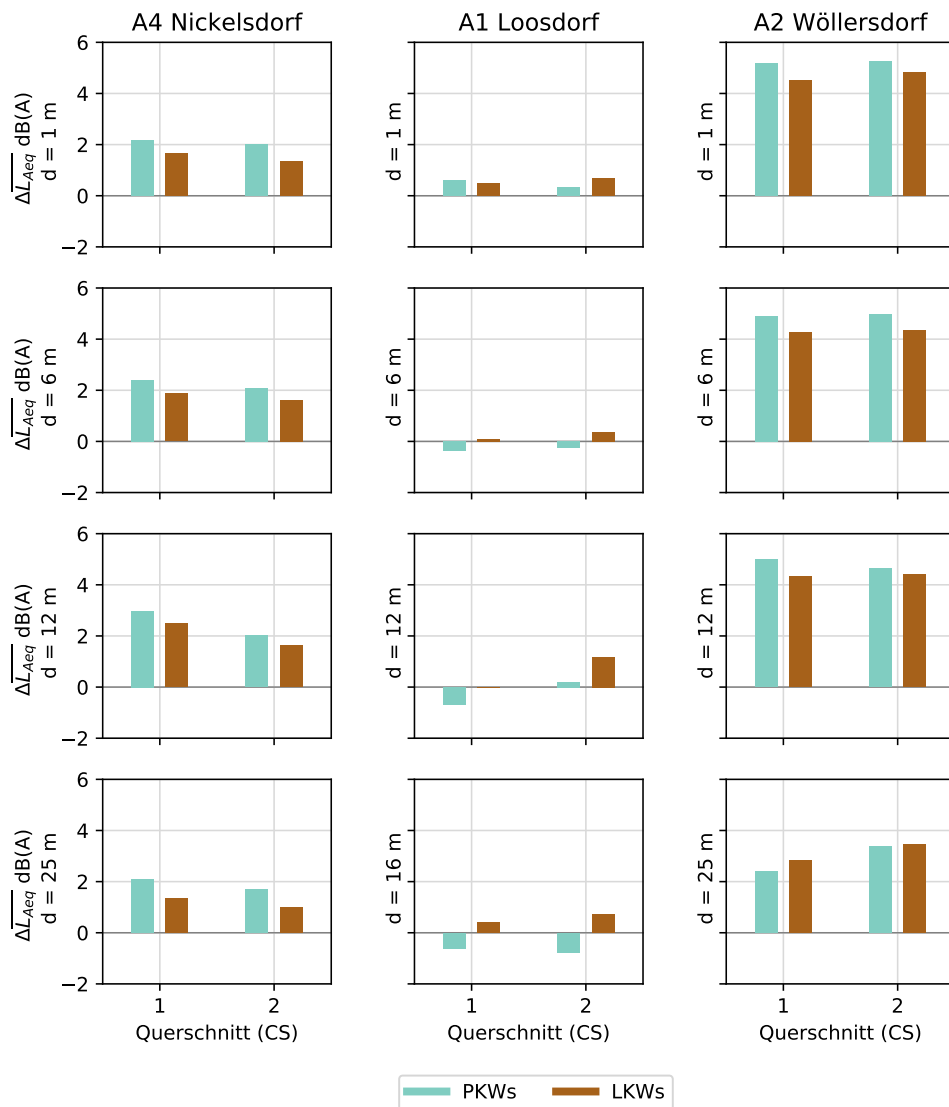
Die Ergebnisse in den nächsten Unterabschnitten basieren auf der Auswertung aller Vorbeifahrten, welche die in den letzten Absätzen beschriebenen Auswahlkriterien erfüllten. Eine getrennte Auswertung von SPB und CPB kann Anhang A entnommen werden.

### 3.2.1 Differenz im Gesamtpegel

Die Gesamtpegeldifferenzen  $\Delta \overline{L_{A,eq}}$  zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes sind für die drei untersuchten Bewuchsstreifen in Abbildung 10 dargestellt. Bei den Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A2 Wöllersdorf sind die Differenzen für alle betrachteten Immissionspunkte positiv, und belegen somit eine Zunahme der mittleren Vorbeifahrtspegel nach Durchführung des Erhaltungsschnittes. Beim Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf mit einer Bewuchstiefe  $D$  zwischen 10 und 18 m betragen die Pegeldifferenzen über alle Immissionspunkte gemittelt für PKWs 2,2 dB(A) und 1,6 dB(A) für LKWs. Für den Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf mit einer Bewuchstiefe  $6 \text{ m} \leq D \leq 27 \text{ m}$  ergeben sich für die gleiche Mittelungsprozedur  $\Delta \overline{L_{A,eq}}$  von 4,6 dB(A) für PKWs und 4,2 dB(A) für LKWs. Die Tendenz zu niedrigeren Differenzen für LKWs bei diesen Bewuchsstreifen ergibt sich durch deren Schallemission, die im Vergleich zu jener von PKWs mehr Energie in tiefen Frequenzen aufweist. Wie in Unterabschnitt 3.2.2 ausführlicher diskutiert wird, führt Bewuchs bei tiefen Frequenzen zu einer geringeren Einfügedämpfung, die zu einer geringeren Gesamtpegeldifferenz führt. Die verhältnismäßig großen  $\Delta \overline{L_{A,eq}}$ -Werte für den Bewuchsstreifen A2 Wöllersdorf resultieren

aus der Bewuchsstreifentiefe, die 27 m und 22 m an den Querschnitten CS1 und CS2 (siehe auch Abbildung 8) beträgt.

Die Gesamtpegeldifferenzen von Bewuchsstreifen A1 Loosdorf zeigen keine klare Tendenz. Eine genaue Analyse von Schalldruckpegelverläufen individueller Vorbeifahrten nach Durchführung des Erhaltungsschnittes zeigten zudem Pegeldifferenzen zwischen einzelnen Messpositionen, die physikalisch nicht erklärbar sind. Eine detaillierte Analyse der Daten für diesen Bewuchsstreifen deutete darauf hin, dass die aufgezeichneten Messungen aufgrund des Verkehrsaufkommens am



**Abbildung 10: Gesamtpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Gesamtpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz  $d$  für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien.**

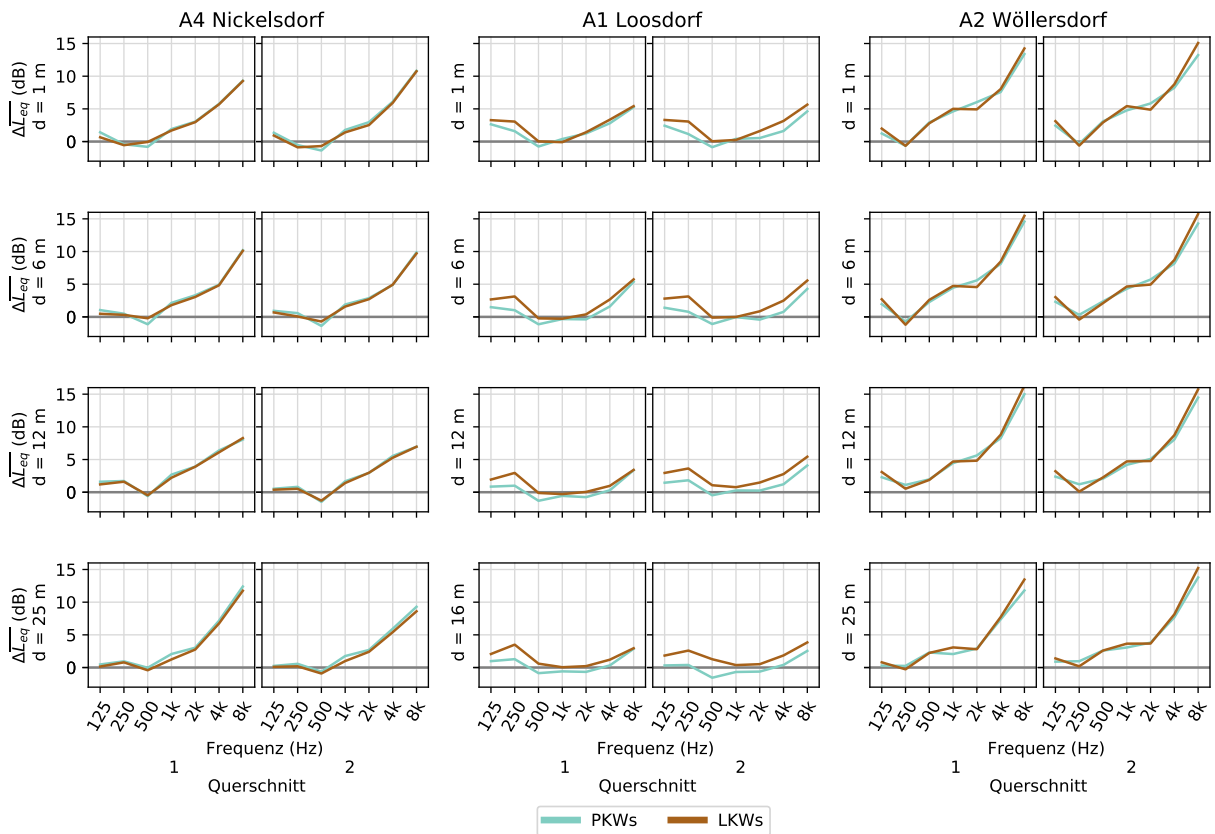
gegenüberliegenden Autobahnverlauf und wegen des Gefälles zwischen den Mikrofonpositionen für die vorgesehene Vorbeifahrtsanalyse nur bedingt geeignet sind. Dies spiegelt sich auch in den beschriebenen Oktavbandpegeldifferenzen in Unterabschnitt 3.2.2 wieder. Deshalb sei an dieser Stelle erwähnt, dass der Bewuchsstreifen A1 Loosdorf zwar in allen weiteren messtechnischen Analysen aus Gründen der Vollständigkeit erwähnt wird, die Messergebnisse für diesen Bewuchsstreifen jedoch nicht für Schlussfolgerungen in Kapitel 6 herangezogen wurden.

### 3.2.2 Differenz in Oktavbandpegeln

Die ermittelten Pegeldifferenzen  $\Delta \overline{L}_{eq,i}$  in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen  $i = 125$  Hz bis  $i = 8$  kHz sind in Abbildung 11 zusammengefasst. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse kann Anhang A entnommen werden. Wie auch bei den Gesamtpegeldifferenzen weisen die Oktavbandpegeldifferenzen in Abbildung 11 für die Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A2 Wöllersdorf einheitliche Tendenzen auf. Ab dem Oktavband mit der Mittenfrequenz 1 kHz ergibt sich bei diesen Bewuchsstreifen an allen Mikrofonpositionen eine mit der Mittenfrequenz annähernd monoton steigende Pegeldifferenz. Die ansteigende Pegeldifferenz zu hohen Frequenzen kann mit den entsprechend kürzeren Wellenlängen des Schalls begründet werden, für den Äste, Stämme und Blätter ein nicht vernachlässigbares akustisches Hindernis darstellen. In Tabelle 7 sind über alle Immissionspunkte gemittelten Oktavbandpegeldifferenzen für die untersuchten Bewuchsstreifen aufgelistet. Der mittlere Pegeldifferenzabfall vom 125-Hz Oktavband zum 250-Hz bzw. bei Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf bis zum 500-Hz Oktavband ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf systematische Messunsicherheiten zurückzuführen.

Oktavband- mittenfrequenz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	A-bew.
<i>A4 Nickelsdorf</i>								
PKWs	1,0	0,6	-0,9	2	3,1	5,9	9,9	2,2
LKWs	0,6	0,3	-0,6	1,6	2,9	5,7	9,7	1,6
<i>A1 Loosdorf</i>								
PKWs	1,5	1,1	-1,0	-0,1	0,0	1,2	4,2	-0,2
LKWs	2,6	3,1	0,4	0,1	0,9	2,4	4,9	0,5
<i>A2 Wöllersdorf</i>								
PKWs	1,8	0,3	2,5	4,1	5,2	7,9	13,9	4,6
LKWs	2,5	-0,3	2,4	4,5	4,5	8,4	15,2	4,2

**Tabelle 7: Über alle Messpositionen gemittelte Oktavbandpegeldifferenzen (in dB) und Gesamtpegeldifferenzen (in dB(A), letzte Spalte).**



**Abbildung 11: Oktavbandpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Oktavbandpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz  $d$  für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien.**

Die divergierenden Oktavbandpegeldifferenzen zwischen PKWs und LKWs bei Bewuchsstreifen A1 Loosdorf bekräftigen die in Unterabschnitt 3.2.1 angeführten Argumente für die Interpretation der Ergebnisse. Zudem sind bei den vorliegenden Eigenschaften des Bewuchsstreifens die verhältnismäßig großen Pegeldifferenzen im Oktavbandbereich von 125 Hz bis 250 Hz im Vergleich zum Oktavbandbereich über 1 kHz physikalisch nicht plausibel.

### 3.3 Akustische Messungen mit pseudostochastischem Rauschen

Am Messort des Bewuchsstreifens A4 Nickelsdorf wurden neben messtechnischen Untersuchungen unter Verkehrslärm zusätzliche Messungen mit pseudostochastischem Rauschen als Schallquelle durchgeführt. Beim untersuchten Bewuchsstreifen handelt es sich um Streifen 1B in Abbildung 8, der die gleichen Eigenschaften wie Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf in Tabelle 5 aufweist. Lediglich die Bewuchstiefe  $D$  betrug bei Streifen 1B im akustisch relevanten Bereich konstant 7,5 m, wie in Abbildung 12 dargestellt. Der skizzierte Messaufbau basiert auf Aspekten des in-situ Messverfahrens nach ÖNORM EN 1793-6 zur Bestimmung der Luftschalldämmung von Lärmschutzwänden. Als Prüfobjekt fungierte bei diesen Untersuchungen der Bewuchsstreifen und die vorgeschriebene Freifeldmessung wurde mit dem gleichen Messaufbau nach Durchführung des Erhaltungsschnittes durchgeführt. In der in Abbildung 12 dargestellten Konfiguration wurden bei jeder Messung 8 Impulsantworten  $h_k(t)$  zwischen Lautsprecher und den entsprechenden Mikrofonen M1 - M8 erfasst. Bei der nachfolgenden zeitlichen Begrenzung der Impulsantwort durch ein Adrienne-Fenster  $w_k(t)$  mit der Standardgesamtlänge von 7,9 ms nach ÖNORM EN 1793-6 werden Reflexionen vom Bewuchsstreifenuntergrund mit berücksichtigt. Die zeitliche Positionierung des Adrienne-Fensters erfolgte nach dem in der Norm beschriebenen Verfahren. Zur Bestimmung der mittleren Oktavbanddämpfung  $IL_{j,dB,oct}$  nach

$$IL_{j,dB} = -10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n=8} IL_{j,k} \right) \quad (2)$$

werden zuvor die Oktavbandenergieverhältnisse  $IL_{j,k,oct}$  mit

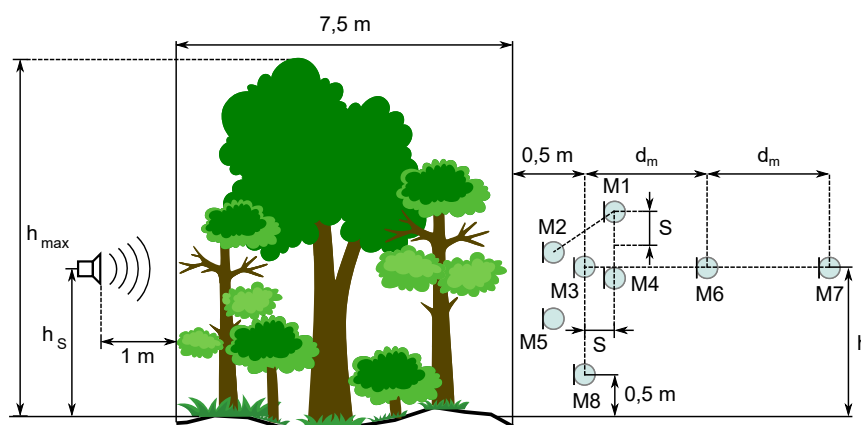


Abbildung 12: Messaufbau für messtechnische Untersuchungen mit pseudostochastischem Rauschen, wiedergegeben über eine Lautsprecher in den Höhen  $h_s = 2,0$  m und  $h_s = 0,5$  m. Die Referenzhöhe  $h$  und die Referenzdistanz  $d_m$  für die Mikrophone betragen 2,0 m bzw. 1,5 m. Der Zwischenmikrofonabstand  $S$  misst 0,4 m.

$$IL_{j,k} = \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{nk}(t) \cdot w_k(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{vk}(t) \cdot w_k(t)]|^2 df} \quad (3)$$

für die Pfade zu den einzelnen Mikrofonpositionen berechnet. Dabei sind

$h_{vk}(t)$  die Impulsantwort vor Durchführung des Erhaltungsschnitts an der Mikrofonposition  $k$ ,

$h_{nk}(t)$  die Impulsantwort nach Durchführung des Erhaltungsschnitts an der Mikrofonposition  $k$ ,

$w_k(t)$  das Adrienne-Zeitfenster für die einfallende Impulsantwort an der Mikrofonposition  $k$ ,

$j$  der Index des  $j$ -ten Oktavbands (zwischen 250 Hz und 8 kHz),

$\Delta f_j$  die Breite des  $j$ -ten Oktavbands,

$n = 8$  die Anzahl der Mikrofonpositionen,

$F$  das Symbol für die Fourier-Transformation.

Die Ermittlung der Impulsantworten  $h_{vk}(t)$  and  $h_{nk}(t)$  erfolgte in den Messungen vor und nach der Durchführung des Erhaltungsschnittes. Abbildung 13 zeigt dazu den Messaufbau nach Durchführung des Erhaltungsschnittes. Auf Basis der mittleren Terzbanddämpfungen  $IL_{j,dB,third}$  kann analog zu ÖNORM EN 1793-6 die Einzahl-Angabe der Dämpfung mit

$$DL_{IL} = -10 \cdot \lg \left( \frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 10^{-0,1 \cdot IL_{j,dB}}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right), \quad (4)$$

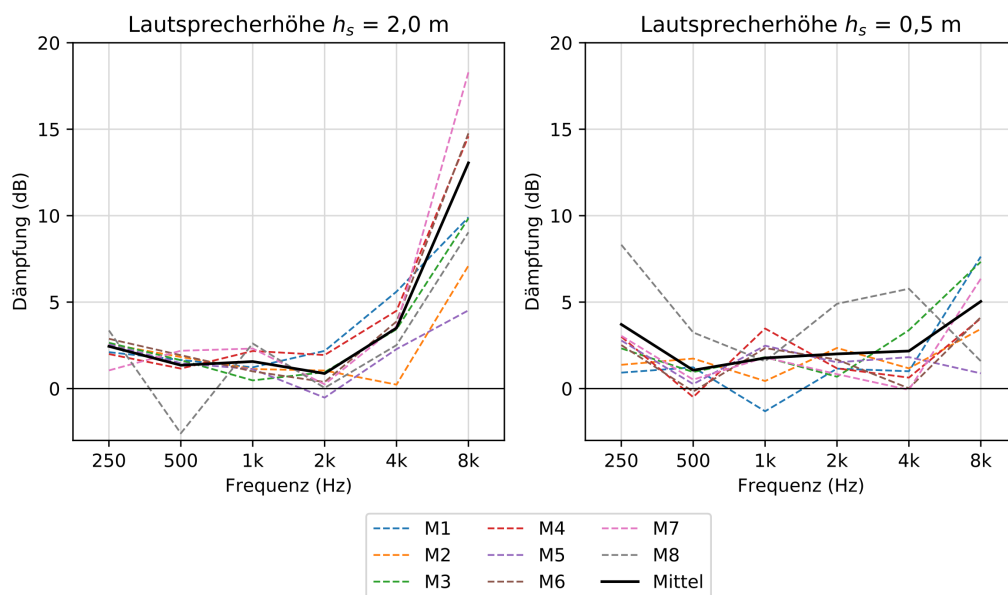
wobei über den Index  $m$  die Terzbanddämpfungen für die Mittenfrequenzen von 200 Hz bis 5 kHz berücksichtigt werden. Für  $L_i$  kommt das standardisierte Straßenverkehrslärmspektrum nach ÖNORM EN 1793-3 zum Einsatz.



**Abbildung 13: Messung mit pseudostochastischem Rauschen nach Durchführung des Erhaltungsschnittes.**



Die Einzelergebnisse  $-10 \lg(IL_{j,k,\text{oct}})$  sowie die mittlere Oktavbanddämpfung  $IL_{j,dB,\text{oct}}$  sind für die beiden Lautsprecherhöhen  $h_s = 2,0 \text{ m}$  und  $h_s = 0,5 \text{ m}$  in Abbildung 14 dargestellt. Beide Fälle zeigen, dass Interferenzeffekte einen beträchtlichen Einfluss auf die an einzelnen Mikrofonpositionen bestimmte Oktavbanddämpfung haben können. Analog zu den Oktavbandpegeldifferenzen bei Messungen unter Verkehrslärm, kann auch hier eine ansteigende mittlere Dämpfung  $IL_{j,dB}$  zu hohen Frequenzen hin beobachtet werden. Bei einer Quellhöhe von  $h_s = 0,5 \text{ m}$  ist dieser Effekt deutlich weniger stark ausgeprägt als bei einer Lautsprecherhöhe von 2 m. Die zugehörigen Einzahlangaben  $DL_{IL}$  für die Quellhöhen 2,0 m und 0,5 m betragen 1,4 dB und 1,8 dB.



**Abbildung 14: Dämpfung in Oktavbändern, ermittelt aus Verhältnis zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnitt gemessenen Impulsantworten.**

## 4 AUDIOVISUELLER VERSUCH

Um den potentiell vom Menschen psychoakustisch wahrgenommenen Einfluss eines Bewuchsstreifens zu untersuchen, wurde ein Laborversuch in AP4 des Projekts durchgeführt. Ergänzend zu den in Kapitel 3 beschriebenen messtechnischen Untersuchungen soll der Versuch in erster Linie Antworten auf folgende Fragestellung liefern:

*Werden auf einer Autobahn vorbeifahrende KFZ hinter einem Bewuchsstreifen, bei dem ein Erhaltungsschnitt durchgeführt wurde, als lauter oder lästiger wahrgenommen?*

Zudem ist aus der in Kapitel 2 beschriebenen Literaturstudie bekannt, dass Bewuchs und Vegetation im Blickfeld einen Einfluss auf die akustische Beurteilung von Verkehrslärm haben kann. Deshalb wurde ein audiovisueller Versuch konzipiert, welcher im nachfolgenden Abschnitt beschrieben wird.

### 4.1 Versuchsdesign und Durchführung

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde folgende Nullhypothese  $H_0$  für den audiovisuellen Versuch formuliert:

*Auf einer Autobahn vorbeifahrende KFZ hinter einem Bewuchsstreifen, bei dem ein Erhaltungsschnitt durchgeführt wurde, werden im gleiche Maße als lästig empfunden, wie vor dem Erhaltungsschnitt.*

Wie beim Design von Hörversuchen üblich und in [Bech 2006] beschrieben wurde  $H_0$  so definiert, dass die Hypothese verworfen werden muss, sollte zwischen vor und nach dem Erhaltungsschnitt ein psychoakustisch wahrnehmbarer Effekt festgestellt werden. Im Rahmen des Versuches wurde dafür jeweils eine teilnehmende Person mit einer Reihe audiovisueller Reize konfrontiert. Die Versuchsperson musste diese Reize, die in weiterer Folge also Stimuli bezeichnet werden, hinsichtlich ihrer hervorgerufenen Lärmbelästigung beurteilen.

Jeder Stimulus besteht aus einer Audioaufnahme von einem vorbeifahrenden Kraftfahrzeug, wie in Abbildung 15 illustriert. Synchronisiert zur Audioaufnahme wird ein Bild mit Blick auf einen komplett erhaltenen Bewuchsstreifen gezeigt, oder ein nach dem Erhaltungsschnitt aufgezeichnetes Video abgespielt, bei dem ein vorbeifahrendes KFZ deutlich zu sehen ist. Audio- und Videoaufnahme stammen dabei bei einem Teil der Stimuli aus der gleichen Situation - vor oder nach Durchführung des Erhaltungsschnittes. Die daraus resultierenden Situationen, in welche die Versuchspersonen hineinversetzt wurden, sind in Abbildung 16 zu sehen. Bei den untersuchten Bewuchsstreifen handelt es sich um die Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A1 Loosdorf aus Kapitel 3, mit den in

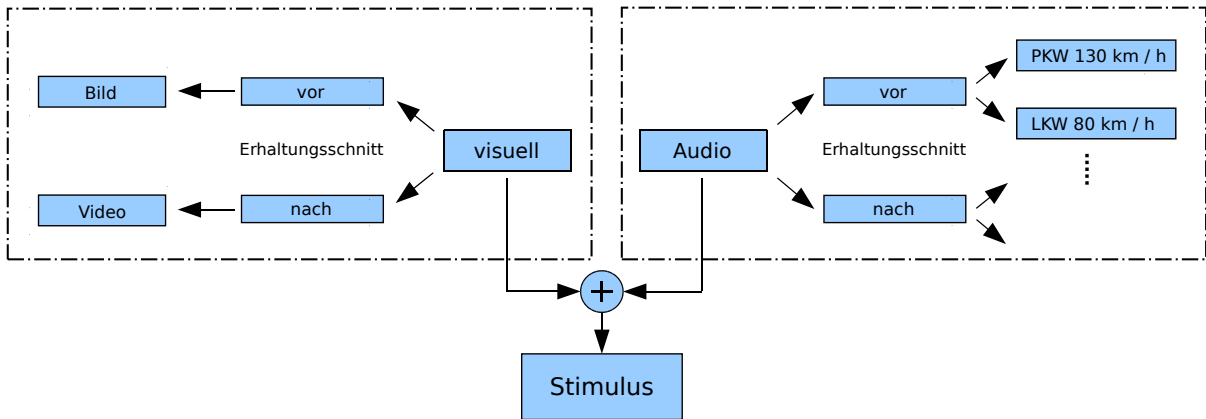


Abbildung 15: Zusammensetzung eines Stimulus, bestehend aus auditivem und visuellem Reiz.

Tabelle 5 aufgelisteten Eigenschaften. Das Quellmaterial der Audioaufnahmen stammt von den CPB-Messungen, die im Rahmen der messtechnischen Untersuchungen für einen Kompakt-SUV und einen mittelschweren LKW durchgeführt wurden. Alle Aufnahmen wurden mit einem kalibrierten Kunstkopfmesssystem an der entsprechenden Messposition in Abbildung 9 aufgezeichnet. Die Verwendung von CPB-Aufnahmen gleicher Fahrzeuge stellte für die Stimuli vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes eine möglichst vergleichbare Vorbeifahrtsemission der KFZ sicher. Für die finalen Versuchsstimuli wurden nur CPB ausgewählt, die alle in Abschnitt 3.2 beschriebenen Pegelabfallkriterien zu nachfolgenden oder vorangegangenen KFZ-Vorbeifahrten erfüllten. Zudem überprüften gehörteschulte Projektmitarbeiter die Aufnahmen, um sicherzustellen, dass die Aufnahme perceptiv von der ausgewählten Vorbeifahrt dominiert wird. Neben der Auflistung der relevantesten Fahrzeuginformationen in Tabelle 6 zeigt Abbildung 17 die beiden eingesetzten KFZ. Hier ist anzumerken, dass

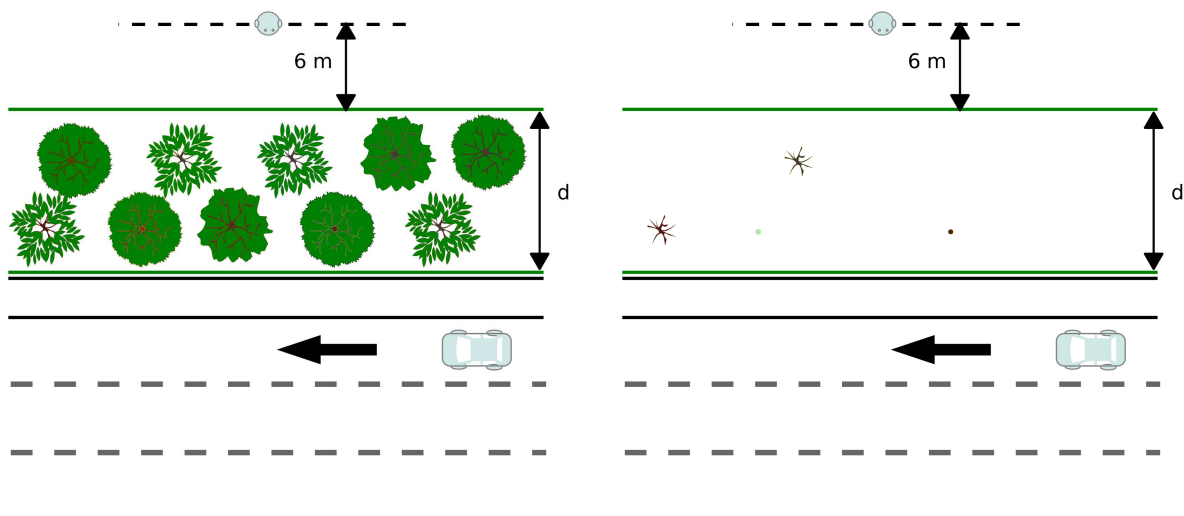


Abbildung 16: Versuchsszenarien vor (links) und nach (rechts) dem Erhaltungsschnitt, in welche die Versuchspersonen akustisch und visuell hineinversetzt wurden.

Stimuluszusammensetzung			A4 Nickelsdorf	A1 Loosdorf
BS akustisch vorhanden	BS visuell vorhanden	PKW 130 km/h	2	1
		LKW 80 km/h	2	1
	BS visuell entfernt	PKW 130 km/h	2	1
		LKW 80 km/h	2	1
BS akustisch entfernt	BS visuell vorhanden	PKW 130 km/h	2	1
		LKW 80 km/h	2	1
	BS visuell entfernt	PKW 130 km/h	2	1
		LKW 80 km/h	2	1

**Tabelle 8: Audiovisuelle Stimuli und ihre Zusammensetzung für die untersuchten Bewuchsstreifen (BS).**

beim Bewuchsstreifen A1 Loosdorf aufgrund des Verkehrsaufkommens auf der gegenüberliegenden Richtungsfahrbahn nur jeweils eine CPB die beschriebenen Selektionskriterien erfüllte. Wie aus den beispielhaft dargestellten visuellen Aufnahmen in Abbildung 18 entnommen werden kann, handelte es sich bei den im Versuch sichtbaren Fahrzeugen um typische KFZ aus dem Fließverkehr anstatt der CPB-Messfahrzeuge. Die Videos dieser visuell für den Fließverkehr repräsentativen KFZ wurden in ihrer Wiedergabegeschwindigkeit an die Vorbeifahrtsgeschwindigkeit der CPB-Audioaufnahmen angepasst und synchronisiert, sodass ein realistischer Gesamtstimulus entstand.

Neben den beschriebenen Standardszenarien kamen für die Untersuchung eines potentiellen Einflusses der audiovisuellen Interaktion Stimuli zum Einsatz, in welchen visueller und akustischer Reiz auf den Bewuchsstreifen bezogen nicht in der gleichen Situation aufgezeichnet wurden. Zum Beispiel zeigten Stimuli ein vorbeifahrendes Fahrzeug nach dem Erhaltungsschnitt, kombiniert mit einer Audioaufnahme vom gleichen Szenario vor dem Erhaltungsschnitt. Zusammen mit den Standardszenarien



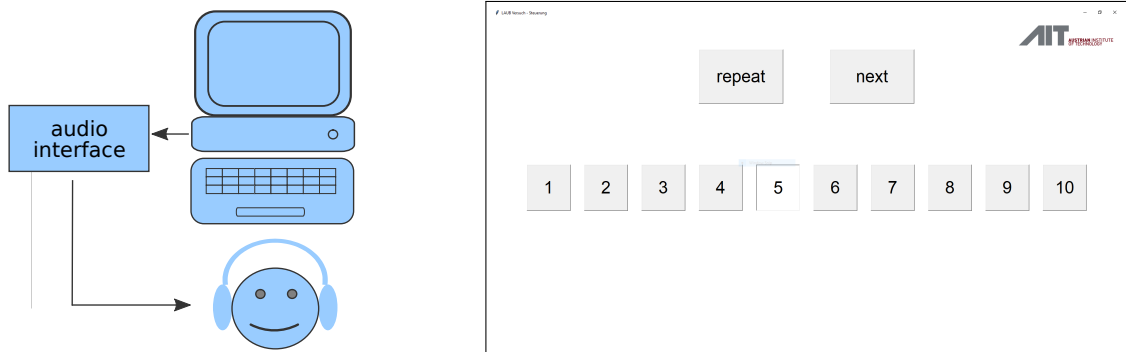
**Abbildung 17: Eingesetzter PKW (links) und mittelschwerer LKW (rechts) zur akustischen Aufzeichnung von CPB für auditive Reize. Die visuellen Reize beinhalteten typische Fahrzeuge aus dem Fließverkehr, wie in Abbildung 18 beispielhaft dargestellt.**



**Abbildung 18: Exemplarisch gezeigtes Bild von Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A1 Loosdorf vor dem Erhaltungsschnitt (oben) und Momentaufnahmen vorgespielter Videos mit PKW und LKW nach dem Erhaltungsschnitt bei Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (unten). Die Qualität der hier gezeigten Bilder entspricht nicht der Originalqualität der im Versuch gezeigten visuellen Reize.**

ergaben sich so 24 verschiedene Stimuli, die in Tabelle 8 aufgelistet sind. Die Einzeldauer der Stimuli betrug zwischen 4,5 und 8,5 Sekunden.

Zur Versuchssteuerung und Bewertung der Stimuli kam ein Aufbau wie Abbildung 19 skizziert zum Einsatz. Ein mit dem eingesetzten Kunstkopf kalibriertes Audiointerface stellte die pegel- und gehörrichtige Wiedergabe sicher. Die visuelle Darbietung der Stimuli erfolgte mit einem handelsüblichen Bildschirm mit einer Bildflächendiagonale von 24 Zoll. Mit Hilfe eines grafischen User



**Abbildung 19: Schematisch realisierter Versuchsaufbau (links) und zugehörige GUI zu Bewertung der Stimuli (rechts).**

Interfaces (GUI) konnten die Versuchspersonen auf einem zweitem Bildschirm (nicht in Abbildung 19 links skizziert) die Stimuli hinsichtlich ihrer hervorgerufenen Lärmbelästigung auf einer Skala von 1 bis 10 bewerten. Jede einzelne Versuchsperson bekam die 24 Stimuli jeweils zweimal vorgespielt, wobei die Wiedergabereihenfolge individuell randomisiert wurde. Zur Bestimmung des individuellen Lärmempfindens mussten die Versuchspersonen im letzten Teil des Versuches einen Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit nach [Weinstein 1978] ausfüllen. Die deutsche Übersetzung der verwendeten Fragen stammt dabei aus [Zimmer 1997] und ist Teil von Anhang B dieses Berichtes.

Insgesamt nahmen 41 Personen am audiovisuellen Versuch teil. 20 davon waren beruflich bei der Austrian Institute of Technology GmbH tätig, die restlichen 21 standen zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung in einem Beschäftigungsverhältnis mit der ASFiNAG. Keine Person arbeitete zum Versuchszeitpunkt thematisch in den Themenfeldern Akustik oder Lärmschutz. Im Zuge der Rekrutierung wurden die Versuchspersonen lediglich über die Art des Versuches informiert - Details zu den Szenarien und der Aufgabenstellung wurden erst unmittelbar vor dem Versuch bekannt gegeben. Das Medianalter der Versuchspersonengruppe betrug 37 Jahre und 22 der 41 Versuchspersonen gaben als biologisches Geschlecht weiblich an.

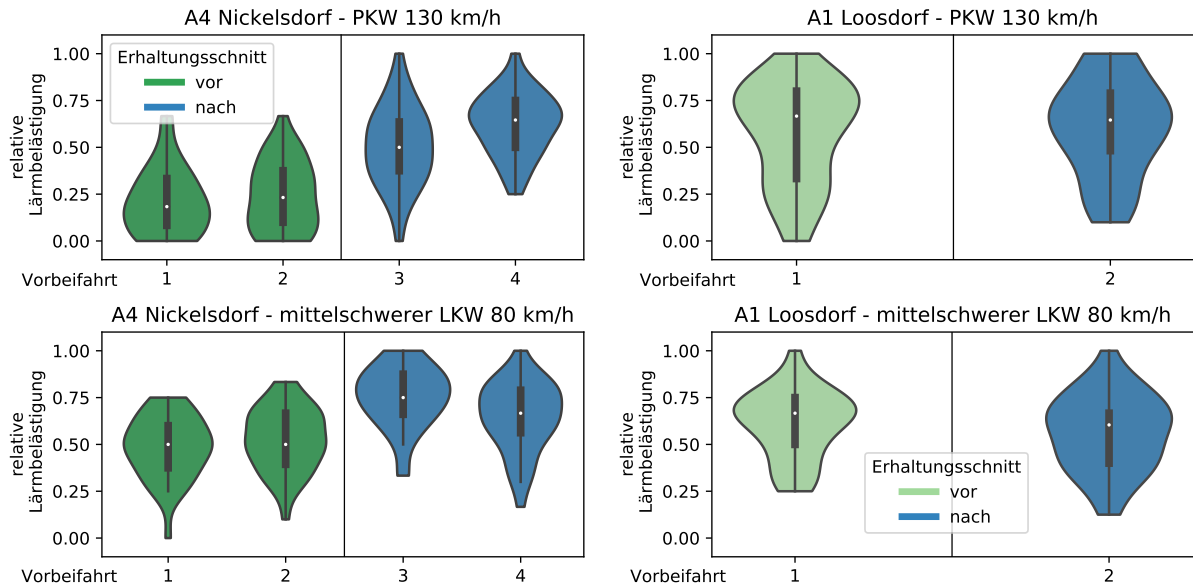
## 4.2 Versuchsergebnisse

Im vorliegenden Abschnitt werden die Ergebnisse des audiovisuellen Versuchs präsentiert. Um die individuellen Bewertungen  $x_{ji}$  des Stimulus  $j$  zwischen verschiedenen Versuchspersonen vergleichbar zu machen, wurden die Ergebnisse jeder Person  $i$  mit

$$x_{ji,\text{norm}} = \frac{x_{ji} - \min(x_j)_i}{\max(x_j)_i - \min(x_j)_i} \quad (5)$$

normiert. Die normierte empfundene relative Lärmbelästigung  $x_{ji,\text{norm}}$  bildet die Basis für alle weiteren Analysen des audiovisuellen Versuchs.

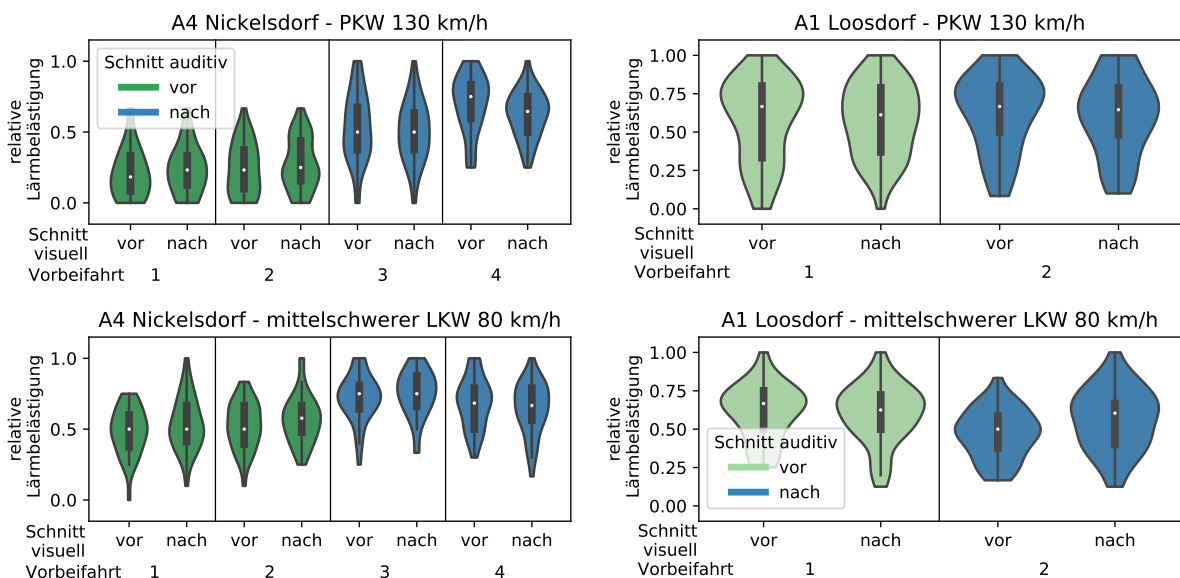
Zur Überprüfung der Nullhypothese  $H_0$  wurden die empfundenen relativen Lärmbelästigungen jeweils für Stimuli gegenübergestellt, in denen sich lediglich die Versuchsvariable *Erhaltungsschnitt* unterscheidet. Somit konnten die Ergebnisse zwischen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes verglichen werden. Abbildung 20 zeigt dazu einen Vergleich der relativen Lästigkeitsverteilungen für die Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A1 Loosdorf vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes. Für den Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf kann festgehalten werden, dass der vorbeifahrende PKW sowie der mittelschwere LKW in allen Szenarien nach der Durchführung des Erhaltungsschnitt-



**Abbildung 20: Vergleich der Lästigkeitsbewertung für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (links) und A1 Loosdorf (rechts) vor (grün) und nach (blau) der Durchführung des Erhaltungsschnittes. Die mittlere Bewertung eines Szenarios (weißer Punkt, Median) wird von einer Box umgeben, in welcher die Hälfte alle Bewertungen liegt (Boxplot). Je dicker die violinenförmige Umrandung an einem Punkt ist, desto mehr Versuchspersonen haben in diesem Bereich ihre Bewertung abgegeben (geschätzte Wahrscheinlichkeitsdichterverteilung).**

tes statistisch signifikant lästiger bewertet wurden als in den Szenarien vor dem Erhaltungsschnitt. Dies wird sowohl durch die durchgeführten abhängigen t-Tests (alle  $p$ -Werte zwischen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes  $< 10^{-3}$ ) als auch durch Unterschiede der Medianlästigkeiten in Abbildung 20 bestätigt. Bei den Ergebnissen für den Bewuchsstreifen A1 Loosdorf betragen die  $p$ -Werte der abhängigen t-Tests beim PKW 0,2 sowie beim LKW 0,1. Somit konnte bei diesem Bewuchsstreifen kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Lästigkeitsbewertungen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes festgestellt werden. Eine mögliche Erklärung für den nicht signifikanten Unterschied zwischen vor und nach Durchführung des Erhaltungsschnittes liegt einerseits bei den Eigenschaften des Bewuchsstreifens: eine verhältnismäßig kurze Länge von 60 m, gepaart mit einer Bewuchsdichte, die den Streifen wie Abbildung 18 dargestellt nicht vollständig blickdicht macht. Zudem muss bei diesem Bewuchsstreifen berücksichtigt werden, dass aufgrund der hohen Anforderungen an die Audioaufnahme für jede Fahrzeugkategorie lediglich eine Vorbeifahrt untersucht werden konnte. Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Mehrheit der untersuchten vorbeifahrenden KFZ nach Durchführung des Erhaltungsschnittes im Mittel als lästiger bewertet wurde - daher wurde die Nullhypothese  $H_0$  verworfen.

Neben der Untersuchung des Einflusses des Erhaltungsschnittes auf die empfundene Lärmbelastigung wurde zudem ein möglicher Einfluss des visuellen Reizes untersucht. Abbildung 21 zeigt dazu einen Vergleich der Versuchsergebnisse zwischen Szenarien, in denen einer Versuchsperson zweimal die gleiche Audioaufnahme vorgespielt wurde, und beim ersten Szenario ein Bild vor dem Erhaltungsschnitt zu sehen war. Beim jeweils zweiten Szenario wurde dieses Bild durch ein Video nach dem Erhaltungsschnitt ersetzt und die Audioaufnahme blieb unverändert. Zum Beispiel befindet sich in Abbildung 21 links oben in der ersten Box ein Szenarienpaar, bei dem im linken Szenario der Bewuchsstreifen zu sehen war (vor dem Erhaltungsschnitt), und im rechten Szenario der vorbeifahrende PKW sichtbar war (nach dem Erhaltungsschnitt). In beiden Szenarien hörten die Versuchspersonen jedoch die Audioaufnahme vor der Durchführung des Erhaltungsschnitt (deshalb sind beide Szenarien grün eingefärbt). Im Rahmen der Untersuchung eines potentiellen Einflusses des visuellen Reizes auf die wahrgenommene Lärmbelastigung wurde für jedes Szenarienpaar ein abhängiger t-Test durchgeführt. Mit Ausnahme von Szenarienpaar 4, der PKW-Vorbeifahrt beim Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf, und bei Szenarienpaar 2 mit der LKW-Vorbeifahrt beim Bewuchsstreifen A1 Loosdorf, konnte kein statistisch signifikanter Einfluss des visuellen Reizes festgestellt werden. Die visuelle Verdeckung der Schallquelle führte in diesen beiden Fällen jeweils einmal zu einer Erhöhung (Szenarienpaar 4, PKW, Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf) und einmal zu einer Senkung (Szenarienpaar 2, LKW, Bewuchsstreifen A1 Loosdorf) der relativen Lärmbelastigung. Insgesamt konnte jedoch bei

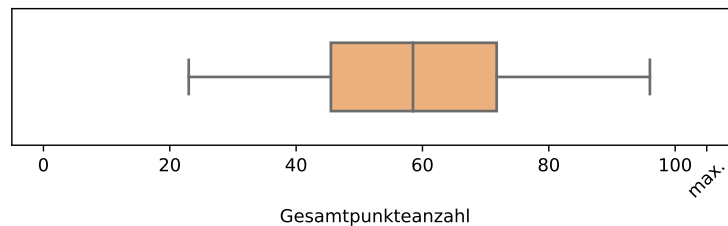


**Abbildung 21: Vergleich der Lästigkeitsbewertung für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (links) und A1 Loosdorf (rechts) bei jeweils gleichbleibender Audioaufnahme und alleiniger Veränderung des visuellen Reizes. Für weitere Erklärungen siehe Abbildung 20.**



der überwiegenden Mehrheit der Szenarienpaaren (10 von 12) kein statistisch signifikanter Einfluss festgestellt werden.

Zur Validierung der Repräsentativität der Lärmbelastigungsbewertungen im audiovisuellen Versuch hatten die Versuchspersonen den im vorigen Unterabschnitt beschriebenen Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit ausgefüllt. Im Rahmen der Fragenauswertung nach [Weinstein 1978] konnte eine Person eine Gesamtpunkteanzahl zwischen 21 und 106 erreichen, wobei eine höhere Punkteanzahl mit einer größeren Lärmempfindlichkeit assoziiert wird. Abbildung 22 zeigt dazu die Verteilung der Gesamtpunkteanzahl aller Versuchspersonen. Der Vergleich der zugehörigen Mittelwerte und der Standardabweichung mit Ergebnissen aus anderen Studien ([Weinstein 1978] und [Zimmer 1997]) in Tabelle 9 legt nahe, dass die ausgewählten Versuchspersonen eine für erwachsene Menschen jungen und mittleren Alters repräsentative Lärmempfindlichkeit besitzen.



**Abbildung 22: Gesamtpunkteanzahl beim Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit nach N.D. Weinstein.** Die Box mit ihren Fühlern zeigt die Verteilung der Gesamtergebnisse aller Versuchspersonen, wobei das mittlere Gesamtergebnis (Median) durch die vertikale Linie in der Box abgebildet ist, und die Hälfte aller Ergebnisse innerhalb der Box liegen. Die beiden Enden der Fühler markieren die kleinste bzw. größte Gesamtpunkteanzahl, die von einer Versuchsperson erreicht wurden.

Parameter	LAUB	[Weinstein 1978]	[Zimmer 1997]
Mittelwert	58,5	54,6	63,7
Standardabweichung	17,7	12,1	14,2
mittleres Alter / Medianalter	38 / 38	- / 18	24 / -

**Tabelle 9: Vergleich statistischer Kenngrößen aus der Verteilung der Gesamtpunkteanzahl zum Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit.**

## 5 SCHALLAUSBREITUNGSBERECHNUNGEN MIT BEWUCHSSTREIFEN

### 5.1 Einleitung

Grundsätzlich liegen für in Österreich im Allgemeinen verwendete Berechnungsverfahren zur Schallausbreitung zwei verschiedene Varianten zur Behandlung der Vegetationsdämpfung vor. Nach RVS 04.02.11 (2006) wird die Vegetationsdämpfung entsprechend einer älteren Version der ÖAL 28 (2001) berücksichtigt. Dafür werden für Bewuchsgruppen von je 50 m Durchgang des Schallausbreitungspfades frequenzabhängige Dämpfungsterme verwendet. Dabei wird ein gekrümmter Schallausbreitungspfad angenommen, welcher bei Anwesenheit von Abschirmkanten entsprechend nach oben verschoben wird. Die Norm fordert, dass der Bewuchs den gedachten gedämpften Schallausbreitungsweg um mindestens 1 m überragen muss.

Nach ÖNORM ISO 9613-2:2008 bzw. ident auch in der aktuellen ÖAL 28 aus 2019 wird für 10 - 20 m Durchgang des Schallausbreitungspfades durch Vegetation ein pauschaler frequenzabhängiger Wert verwendet, ab 20 m Durchgang ein längenabhängiger Dämpfungsterm. Wiederum wird ein gekrümmter Schallausbreitungsweg angenommen (Radius 5 km), der jedoch nicht durch Abschirmkanten beeinflusst wird. Auch wird keine minimale Höhe des Bewuchses über diesen gedachten Ausbreitungsweg gefordert.

In beiden Verfahren kann der Schallausbreitungsweg durch die Krümmung über das Bewuchsfeld führen, und damit geringe bzw. keine Dämpfung auslösen.

Zum Vergleich wird in Tabelle 10 der vollständige Durchgang eines einzelnen Schallausbreitungspfades durch einen 15 m und einen 100 m tiefen Bewuchsstreifen illustriert. Dabei zeigt sich für das

Oktavband- mittenfrequenz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>15 m Bewuchs</i>								
RVS / ÖAL alt	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9
ISO 9613-2 / ÖAL 28 – 2019	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0
<i>100 m Bewuchs</i>								
RVS / ÖAL alt	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	6,0
ISO 9613-2 / ÖAL 28 – 2019	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	9,0	12,0

**Tabelle 10: Angabe der Vegetationsdämpfung in dB je Oktavband für 15 m und 100 m Durchgang durch Bewuchs.**

Verfahren nach ISO 9613-2 bzw. ÖAL 28 aus 2019 eine jedenfalls höhere Dämpfung, als dies bisher bei Verwendung der RVS 04.02.11 angenommen wurde.

## 5.2 Berechnungsmodell für Messquerschnitte

Die Messquerschnitte bei den Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A2 Wöllersdorf wurden konkret für die Berechnung nach den einzelnen Verfahren modelliert. Dabei wurden die Bewuchsstreifen aus dem Luftbild und mit der erhobenen mittleren Bewuchshöhe definiert. Die Lage der Messpunkte wurde anhand der terrestrischen Messung zum Abstand zur Straßenachse (Referenzpunkte) bzw. mittels GPS-Koordinaten und Kontrolle am Luftbild positioniert. Das entsprechende Geländemodell ist in Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellt. Die Bodendämpfung ist global mit  $G=1$  für absorbierenden Boden berücksichtigt. Davon ausgenommen ist der schallharte Bereich der Fahrbahn, sowie für Nickelsdorf auch der befestigte Bereich hinter dem Bewuchsstreifen.



**Abbildung 23: Geländemodell für Schallausbreitungsberechnung Wöllersdorf mit grün schraffiertem Dämpfungselement, blau schraffiertem Bodendämpfungselement und blauer Emissionslinie.**



**Abbildung 24: Geländemodell für Schallausbreitungsberechnung Nickelsdorf mit grün schraffiertem Dämpfungselement, blau schraffiertem bzw. rot umrandeten Bodendämpfungselement und blauer Emissionslinie.**

Die Berechnung nach RVS 04.02.11 aus 2006 erfolgt streng nach Norm. Nachdem für das Verfahren nach RVS 04.02.11 aus 2019 keine qualitätsgesicherte Software für Österreich vorliegt, wird die Berechnung auf die Verwendung auf ÖNORM ISO 9613-2 beschränkt. Die Vegetationsdämpfung ist dafür ident und der Einfluss durch die Kombination mit der in anderer Form berücksichtigten Bodendämpfung wird als gering eingestuft, da keine Abschirmungen vorliegen. Die Emissionslinie wird entsprechend RVS aus 2019 auf 0,05 m gesetzt. Alle Berechnungen wurden mit der Software IMMI 2019 (Update vom 05.02.2020) der Firma Wölfel durchgeführt.

Damit liegt folgender Vergleich der Berechnungswerte mit jenen der Berechnung vor. In Tabelle 11 und Tabelle 12 finden sich die Vergleiche für die Messquerschnitte CS1 und CS2 in Wöllersdorf. Nach RVS 04.02.11 (2006) fehlt ein Berechnungswert für 8 kHz mangels Emissionsdaten. Während für den Referenzpunkt vor dem Bewuchsstreifen kein Einfluss prognostiziert wird, zeigen die Messwerte Schwankungen im 1 dB Bereich. Insgesamt erreicht die berechnete Dämpfung keine Werte über 1 dB, während die Messungen auch bereits im 1 kHz Bereich Dämpfungen bis zu 5 dB zeigen.

Oktavband- mittenfrequenz		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>CS1</i>									
M1 (Ref.)	M	-	1,5	0,4	1,4	1,1	0,1	0,7	1,7
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
M2 (26 m)	M	-	1,6	-0,7	2,7	4,6	5,3	7,4	13,4
	B	0,0	0,0	0,6	0,7	0,7	0,7	1,3	-
M3 (31 m)	M	-	2,4	-0,9	2,5	4,6	5,1	8,1	14,7
	B	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,6	1,2	-
M4 (37 m)	M	-	2,8	0,9	2,1	4,7	5,4	8,5	15,3
	B	0,0	0,0	0,4	0,3	0,4	0,4	0,9	-
M5 (50 m)	M	-	0,7	0,1	2,4	2,8	3,0	7,6	12,2
	B	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	0,7	-
<i>CS2</i>									
M6 (Ref.)	M	-	0,7	-0,6	-0,2	0,3	0,2	1,7	2,2
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
M7 (26 m)	M	-	3,0	-0,4	3,1	5,2	5,4	8,3	13,7
	B	0,0	0,0	0,6	0,7	0,7	0,6	1,2	-
M8 (31 m)	M	-	2,9	0,1	2,4	4,6	5,5	8,4	14,8
	B	0,0	0,0	0,5	0,6	0,6	0,6	1,1	-
M9 (37 m)	M	-	3,0	0,9	2,3	4,6	5,0	8,4	14,8
	B	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	-
M10 (50 m)	M	-	1,3	0,8	2,8	3,5	3,9	7,9	14,1
	B	0,0	0,0	0,3	0,2	0,3	0,3	0,7	-

**Tabelle 11: Vergleich Berechnung nach RVS 04.02.11 (2006) versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB).**

Oktavband- mittenfrequenz		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>CS1</i>									
M1 (Ref.)	M	-	1,5	0,4	1,4	1,1	0,1	0,7	1,7
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M2 (26 m)	M	-	1,6	-0,7	2,7	4,6	5,3	7,4	13,4
	B	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	2,7	3,4
M3 (31 m)	M	-	2,4	-0,9	2,5	4,6	5,1	8,1	14,7
	B	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,2	2,5	3,4
M4 (37 m)	M	-	2,8	0,9	2,1	4,7	5,4	8,5	15,3
	B	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,8	2,3	3,2
M5 (50 m)	M	-	0,7	0,1	2,4	2,8	3,0	7,6	12,2
	B	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,4	1,9	2,9
<i>CS2</i>									
M6 (Ref.)	M	-	0,7	-0,6	-0,2	0,3	0,2	1,7	2,2
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M7 (26 m)	M	-	3,0	-0,4	3,1	5,2	5,4	8,3	13,7
	B	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	2,2	2,5	3,1
M8 (31 m)	M	-	2,9	0,1	2,4	4,6	5,5	8,4	14,8
	B	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	2,3	3,0
M9 (37 m)	M	-	3,0	0,9	2,3	4,6	5,0	8,4	14,8
	B	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,8
M10 (50 m)	M	-	1,3	0,8	2,8	3,5	3,9	7,9	14,1
	B	0,2	0,3	0,7	0,8	0,9	1,2	1,8	2,8

**Tabelle 12: Vergleich Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB).**

Die Vergleiche in Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen wiederum deutliche Unsicherheiten der Messungen. So liegen die gemessenen Differenzen am Referenzpunkt bereits bei 2 dB. Allerdings gibt es bis inklusive dem 2000 Hz Oktavband eine gute, im 1 dB Bereich liegenden, Übereinstimmung von Messung und Berechnung.

Oktavband- mittenfrequenz		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>CS1</i>									
M1 (Ref.)	M	-	0,3	-0,2	0,3	-0,1	0,0	0,4	0,7
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
M2 (26 m)	M	-	1,1	-0,5	-0,4	1,8	2,9	5,1	7,8
	B	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	-
M3 (31 m)	M	-	0,8	0,4	-0,6	2,0	3,0	4,2	8,4
	B	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	-
M4 (37 m)	M	-	1,4	1,7	-0,5	2,4	3,7	5,4	6,1
	B	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	-
M5 (50 m)	M	-	0,3	0,9	-0,2	1,7	2,6	5,7	9,3
	B	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	-
<i>CS2</i>									
M6 (Ref.)	M	-	0,4	0,8	2,1	2,1	0,5	-0,6	-0,1
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
M7 (26 m)	M	-	1,1	-0,7	-1,0	1,6	2,6	5,4	9,3
	B	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	-
M8 (31 m)	M	-	0,8	0,3	-1,0	1,7	2,6	4,2	8,0
	B	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	-
M9 (37 m)	M	-	0,5	0,7	-1,4	1,5	2,7	4,6	4,9
	B	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	-
M10 (50 m)	M	-	0,2	0,4	-0,7	1,4	2,2	4,5	6,3
	B	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	-

**Tabelle 13: Vergleich Berechnung nach RVS 04.02.11 (2006) versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB).**

Oktavband- mittenfrequenz		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>CS1</i>									
M1 (Ref.)	M	-	0,3	-0,2	0,3	-0,1	0,0	0,4	0,7
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M2 (26 m)	M	-	1,1	-0,5	-0,4	1,8	2,9	5,1	7,8
	B	0,5	0,6	1,3	1,4	1,6	1,7	2,4	3,1
M3 (31 m)	M	-	0,8	0,4	-0,6	2,0	3,0	4,2	8,4
	B	0,4	0,6	1,1	1,3	1,5	1,7	2,3	3,0
M4 (37 m)	M	-	1,4	1,7	-0,5	2,4	3,7	5,4	6,1
	B	0,3	0,5	1,0	1,2	1,4	1,6	2,2	3,1
M5 (50 m)	M	-	0,3	0,9	-0,2	1,7	2,6	5,7	9,3
	B	0,2	0,3	0,9	1,0	1,1	1,4	2,1	3,0
<i>CS2</i>									
M6 (Ref.)	M	-	0,4	0,8	2,1	2,1	0,5	-0,6	-0,1
	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M7 (26 m)	M	-	1,1	-0,7	-1,0	1,6	2,6	5,4	9,3
	B	0,6	0,7	1,3	1,4	1,6	1,7	2,3	3,1
M8 (31 m)	M	-	0,8	0,3	-1,0	1,7	2,6	4,2	8,0
	B	0,4	0,5	1,1	1,3	1,5	1,6	2,3	3,1
M9 (37 m)	M	-	0,5	0,7	-1,4	1,5	2,7	4,6	4,9
	B	0,4	0,5	1,0	1,2	1,4	1,6	2,2	3,1
M10 (50 m)	M	-	0,2	0,4	-0,7	1,4	2,2	4,5	6,3
	B	0,3	0,4	0,9	1,1	1,2	1,4	2,1	3,0

**Tabelle 14: Vergleich Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB).**

Es wurde versucht in einem nächsten Schritt die dargestellten Unsicherheiten zu reduzieren. Während die vorangegangenen Berechnungen auf der in Österreich normierte atmosphärische Dämpfung bei 10°C und 70% relativer Luftfeuchte beruhen, werden im nächsten Schritt die tatsächlichen Verhältnisse während der Berechnung berücksichtigt. Dies erfolgt für die ISO 9613-2 bzw. ÖAL 28, welche die atmosphärische Dämpfung nach ISO 9613-1 berechnen.

Die Messbedingungen schwankten in Nickelsdorf von 10°C zu -1°C, bei gleichbleibender Luftfeuchte von 94 %. Dennoch wirken sich diese Änderungen im 8000 Hz Band bereits mit 5 dB stärkerer Dämpfung aus. Ergänzt finden sich in Tabelle 15 die Werte für die Standardbedingung 100 m. Bei den durchgeführten SEL Messungen gehen Abstände in 100 m noch nennenswert in die Gesamtpegel ein. Insgesamt wird der Einfluss jedoch geringer sein und wird vor allem unter 2000 Hz vernachlässigbar.



Temperatur	Feuchte	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
10°C	70%	0	0	0	0	0	1	3	12
10°C	94%	0	0	0	0	0	1	2	9
-1°C	94%	0	0	0	0	0	1	4	14

**Tabelle 15: Darstellung des Einflusses der atmosphärischen Dämpfung in 100 m Abstand.**

Eine zweite Unsicherheit ergibt sich durch die Vorbeifahrtsmessung, welche nicht den gesamten Pegel einer Vorbeifahrt beinhaltet. Nachdem der Vorbeifahrtspegel nur bis zu einem Abfall von etwa 10 dB unter dem Maximum erhoben werden konnte, bzw. in den weiter entfernt liegenden Messpunkten nur mehr ein maximaler Abfall von 6 dB beinhaltet ist, wird die einwirkenden Emissionslinie entsprechend verkürzt. Somit werden 75 m vor und nach jedem Querschnitt als Emissionslinie definiert, um die gemessenen Pegel möglichst gut in der Berechnung nachzubilden. Damit ergeben sich nach ISO 9613-2 die in Tabelle 16 und Tabelle 17 dargestellten Ergebnisse. Die dargestellten Messergebnisse wurden dabei nicht bzgl. atmosphärischer Dämpfung korrigiert, sondern es wurden deren tatsächlich erhobenen Rohwerte den Berechnungen gegenübergestellt, welche die atmosphärische Dämpfung in Kombination mit Abstand und Bodendämpfung beinhalten.

In Anbetracht der Kenntnisse der Unsicherheiten von Berechnung und Messungen für diese Erhebung, welche jedenfalls höher als 1 dB liegen, werden dafür ganzzahlige Ergebnisse verglichen. Von einer weiteren Betrachtung des 8 kHz Oktavbandes wurde abgesehen, da deren Berechnung derart sensitiv auf die getroffenen Annahmen reagiert, dass keine zuverlässige Aussage ermittelt werden kann. So erlaubt das verwendete Softwareprodukt nur Eingaben von Temperatur und relativer Luftfeuchte in 5° bzw. 10% Schritten, womit bereits maßgebliche Abweichungen im dB Bereich erfolgen. Ebenso wirkt sich die betrachtete Länge der Vorbeifahrt maßgeblich auf das Ergebnis aus.

Oktavband- mittenfrequenz		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
<i>CS1</i>							
M1 (Ref.)	M	2	0	1	1	0	1
	B	0	0	0	0	0	0
M2 (26 m)	M	2	-1	3	5	5	7
	B	1	1	2	2	2	2
M3 (31 m)	M	2	-1	2	5	5	8
	B	1	1	1	2	2	2
M4 (37 m)	M	3	1	2	5	5	8
	B	1	1	1	2	2	2
M5 (50 m)	M	1	0	2	3	3	8
	B	1	1	1	2	2	2
<i>CS2</i>							
M6 (Ref.)	M	1	-1	0	0	0	2
	B	0	0	0	0	0	0
M7 (26 m)	M	3	0	3	5	5	8
	B	1	1	1	2	2	2
M8 (31 m)	M	3	0	2	5	5	8
	B	1	1	1	2	2	2
M9 (37 m)	M	3	1	2	5	5	8
	B	1	1	1	1	2	1
M10 (50 m)	M	1	1	3	4	4	8
	B	0	1	1	1	1	1

**Tabelle 16: Vergleich angepasste Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Wöllersdorf (Werte in dB).**

Oktavband- mittenfrequenz		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
<i>CS1</i>							
M1 (Ref.)	M	0	0	0	0	0	0
	B	0	0	0	0	0	0
M2 (26 m)	M	1	0	0	2	3	5
	B	0	1	1	1	1	2
M3 (31 m)	M	1	0	-1	2	3	4
	B	0	1	1	1	1	1
M4 (37 m)	M	1	2	-1	2	4	5
	B	0	1	1	1	1	1
M5 (50 m)	M	0	1	0	2	3	6
	B	0	1	1	1	1	1
<i>CS2</i>							
M6 (Ref.)	M	0	1	2	2	0	-1
	B	0	0	0	0	0	0
M7 (26 m)	M	1	-1	-1	2	3	5
	B	0	1	1	1	1	2
M8 (31 m)	M	1	0	-1	2	3	4
	B	0	1	1	1	1	1
M9 (37 m)	M	0	1	-1	2	3	5
	B	0	1	1	1	1	1
M10 (50 m)	M	0	0	-1	1	2	5
	B	0	1	1	1	1	1

**Tabelle 17: Vergleich angepasste Berechnung nach ISO 9613-2 versus Messung Nickelsdorf (Werte in dB).**

Um eine repräsentative Gesamtausgabe zu erhalten, wurden die ermittelten Differenzen zwischen Messung und Berechnung ermittelt und der arithmetische Mittelwert über die einzelnen Messpunkte dargestellt. Diese Ergebnisse wurden für eine Gesamtabschätzung ein weiteres Mal gemittelt und in Tabelle 18 zusammengefasst. Dabei wurde über alle Messpunkte gemittelt, da die Höhen der ermittelten Differenzen keine maßgeblichen Unterschiede oder Ausreißer erkennen lassen. So weisen die Differenzen auch eine derart hohe Standardabweichung auf, sodass erst ab 2 kHz von einem signifikanten Unterschied zwischen Messung und Berechnung ausgegangen werden kann.

Messort	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Nickelsdorf	-0,4	0,5	1,4	-0,7	-1,5	-3,1
Std.abw. (k=2)	0,7	1,7	2,8	1,2	1,0	2,9
Wöllersdorf	-1,4	0,9	-1,0	-2,5	-2,6	-5,8
Std.abw. (k=2)	1,6	1,5	1,1	2,1	2,3	3,2
<b>Gesamtmittel</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,2</b>	<b>-1,6</b>	<b>-2,0</b>	<b>-4,5</b>

**Tabelle 18: Mittelwerte der Differenzen zwischen Messung und Berechnung über alle Messpunkte.**

Mit Mai 2020 wurde eine beta Version des Softwareprodukts IMMI verfügbar, welche die Vegetationsdämpfung nach ÖAL 28 aus 2019 korrekt umsetzt und gleichzeitig die Ausbreitungsrechnung dieser ÖAL 28 unter Berücksichtigung des Entwurfs zur ISO 17534-4 ermittelt. Damit wurden die Berechnungen wiederholt. Diese Berechnungen beinhalteten auch die Berücksichtigung der Temperatur, welche sich nicht nur auf die Schallausbreitung, sondern auch auf das Rollgeräusch nach RVS 04.02.11 (2019) auswirkt. Nachdem die Messergebnisse zwar auch ohne Korrektur der atmosphärischen Dämpfung, aber jedenfalls mit Rollgeräuschkorrektur vorlagen, wurde die Berechnungsergebnisse modifiziert. Dabei wurde der Temperatureinfluss auf die Emission, durch Normierung auf die Berechnungswerte im Referenzpunkt, manuell entfernt. Die damit durchgeführte Differenzbildung von Messung und Berechnung wurde mit den bereits für ISO 9613-2 ermittelten Ergebnissen verglichen. Dies zeigte von 63 Hz bis 2000 Hz Unterschiede von  $\geq 0,1$  dB und für das 4000 Hz Band Unterschiede  $\geq 0,2$  dB. Damit sind die Annahmen bestätigt, dass sich der Einfluss der Vegetation bei Verwendung der beiden Berechnungsverfahren im Nahbereich nicht unterscheidet, da das diesbezügliche Regelwerk zur Vegetationsdämpfung für beide ident ist.

### 5.3 Berechnungsmodell für repräsentativen Bewuchsstreifen

Für einen repräsentativen Bewuchsstreifen wurden Berechnungen in größerer Entfernung mittels ISO 9613-2 durchgeführt. Dabei betrug die Tiefe des Bewuchses 12 m und die Höhe 13,3 m<sup>1</sup> über Boden. Bei dieser Höhe, führen die gekrümmten Schallausbreitungspfade für Immissionspunkte in mehreren hundert Metern Entfernung und 4 m Höhe über Boden noch deutlich durch den modellierten Bewuchs. Es ist aber zu beachten, dass bei niedrigeren Bewuchshöhen, als auch höher liegenden Immissionspunkten dies nicht immer gewährleistet ist. Für einen Bewuchsstreifen von 15 m bis 30 m parallel zu einem Fahrstreifen (z.B. gegenüberliegende Fahrbahn) muss in 50 m Entfernung und 6 m Höhe bereits 4 m Mindesthöhe vorherrschen um die Sichtverbindung zu unterbrechen und damit jedenfalls eine Dämpfung auszulösen. Für weiter entfernte Punkte, beispielsweise in 300 m Abstand ist über die direkte Verbindungslinie noch 1 m höherer Bewuchs notwendig, um aufgrund der gekrümmten Schallausbreitungspfade eine Dämpfung auszulösen.

Wie in Abbildung 25 dargestellt wurde Bewuchsstreifen durchgehend parallel zur Straße gelegt. Die Autobahn wurde normgemäß durch Emissionslinien an den äußeren beiden Fahrstreifen mit je 3,75 m Breite modelliert. Zusätzlich ist ein Pannestreifen von 3,5 m und ein Grünstreifen von 3,0 m zwischen den beiden Richtungsfahrbahnen angenommen worden. Damit ergibt sich eine Gesamtbreite von 27,5 m. Vom Fahrbahnrand zum Bewuchs sind weitere 3 m definiert. Die Emissionswerte wurden entsprechend der RVS 04.02.11 (2019) für Asphaltbeton einem DTV von 40.000 und RVS gemäß Tageszeiten und Schwerverkehrsaufteilung definiert. Die Geschwindigkeiten für leichte, mittelschwere und schwere Fahrzeuge betragen 130/80/70 km/h. Die damit ermittelten Schallleistungspegel wurden für die Schallausbreitungsberechnung nach ISO 9613-2 verwendet.

Der Abstand der Immissionspunkte wird ausgehend vom Fahrbahnrand gemessen. Diese liegen 4 m über ebenem Boden. Dargestellt werden die Differenzen für den Nachzeitraum in Tabelle 19.

IP	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	A-bew.
50 m	-0,4	-0,4	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-2,1	-3,0	-1,4
100 m	-0,3	-0,4	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-2,0	-3,0	-1,3
200 m	-0,2	-0,3	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-2,0	-3,0	-1,2
300 m	-0,2	-0,3	-1,0	-1,1	-1,2	-1,2	-2,0	-3,0	-1,2
500 m	-0,2	-0,2	-0,9	-1,0	-1,1	-1,1	-2,0	-3,0	-1,1

**Tabelle 19: Differenz für IPs in verschiedenen Abständen und 4 m über Boden nach Norm (alle Werte in dB).**

<sup>1</sup>ermittelt aus den mittleren Höhen der Wuchsklassen im ASFINAG Baumkataster



Abbildung 25: Übersichtsdarstellung zum gewählten Referenzbeispiel.

Um die Messergebnisse in die Resultate für das Testbeispiel miteinzubeziehen, werden die Mittelwerte der Abweichungen von Messung zu Berechnung in den Messpunkten von Nickelsdorf verwendet, da diese mit einer mittleren Bewuchstiefe von 10 - 18 m vergleichbar sind. Um eine, für die Vegetationsdämpfung auf der sicheren Seite liegende Abschätzung zu erhalten, wurde für das 8 kHz Oktavband eine 10 dB höhere Dämpfung angenommen, als dies nach Norm berechnet wird.

IP	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	A-bew.
50 m	0	-1	-1	0	-2	-3	-5	-13	-2
100 m	0	-1	-1	0	-2	-3	-5	-13	-2
200 m	0	-1	-1	0	-2	-3	-5	-13	-2
300 m	0	-1	0	0	-2	-3	-5	-13	-2
500 m	0	-1	0	0	-2	-3	-5	-13	-2

Tabelle 20: Differenz für IPs in verschiedenen Abständen und 4 m über Boden angepasst an Messwerte (alle Werte in dB).

Aufgrund der Standardabweichung von  $> 1$  dB für die maßgeblichen Frequenzbänder, wird eine ganzzahlige Darstellung gewählt. Unter dieser Berücksichtigung liegen die Veränderung des A-bewerteten Gesamtpegels innerhalb der Messgenauigkeit. Tendenziell kann aber von einer höheren

Vegetationsdämpfung als nach Norm berechnet wurde, ausgegangen werden.

Zur Vollständigkeit wurden diese Ergebnisse, beruhend auf den Emissionsdaten nach RVS 04.02.11 aus 2019 und der Ausbreitungsberechnung mittel ISO 9613-2, mit einer beta Version von IMMI aus Mai 2020 für RVS 04.02.11 aus 2019 und der neuen ÖAL 28 aus 2019 wiederholt. Die Unterschiede zu den oben präsentierten Daten betragen in allen Frequenzbändern maximal 0,2 dB. Ausgenommen davon waren nur die Ergebnisse für die Immissionspunkte in 50 m und 100 m und im 2000 Hz Band. Für diese Kombination ergab die normgerechte Berechnung nach ÖAL 28 aus 2019 0,6 dB bzw. 0,4 dB stärkere Dämpfungen. Insgesamt zeigten die A-bewerteten Gesamtdifferenzen zwischen den Berechnungen beruhend auf RVS 04.02.11 (2019) / ISO 9613-2 und RVS 04.02.11 (2019) / ÖAL 28 (2019) nur Unterschiede von  $\geq 0,2$  dB.

## 5.4 Zusammenfassung

Die durchgeführten Messungen wurden mittels Berechnungen simuliert. Die Verwendung der Vegetationsdämpfung nach RVS 04.02.11 aus 2006 (beruhend auf ÖAL 28 aus 2001) zeigt deutlich geringere Dämpfungswerte als messtechnisch erhoben wurde. Bei Verwendung der Vegetationsdämpfung nach ISO 9613-2, welche auch der neuen ÖAL 28 aus 2019 zugrunde liegt, errechnen sich höhere Dämpfungswerte. Diesen sind im Rahmen der deutlichen Messunsicherheiten sowie Unsicherheiten durch Annahmen zu Ausbreitungsbedingungen in der Atmosphäre gegenüber den Messwerten grundsätzlich vergleichbar. Insgesamt prognostiziert die ÖAL 28 neu bei einem dichten Bewuchsstreifen über 12 m Tiefe und ausreichender Höhe zur Dämpfung entlang des Schallausbreitungsweges eine Minderung von 1 dB für den A-bewerteten Gesamtpegel. Unter Berücksichtigung der Messergebnisse sind für diese Situation bis zu 2 dB plausibel. Diese Werte sind zusätzlich durch eine stärkere Dämpfung der höheren Frequenzbänder wahrnehmbar. Für die Berechnung eines Lärmindizes, wie er nach dem Stand der Technik und Wissenschaften für die Beurteilung der Belästigung und Gesundheitsgefährdung verwendet werden muss, sind jedenfalls Jahresmittelwerte anzunehmen. Eine jahreszeitlich veränderte Dämpfung ist dabei zu berücksichtigen, und kann damit zu deutlich geringeren Dämpfungen über das Jahresmittel führen. Insgesamt sind aufgrund dieser geringen Einflüsse für schmale Bewuchsstreifen keine Änderungen an der bisherigen Vernachlässigung der Vegetationsdämpfung bei Lärmkartierungen erforderlich.

## Danksagung

Der Autor bedankt sich bei der Firma Wölfel Monitoring Systems GmbH + Co. KG, Höchberg, Deutschland für die konstruktive Unterstützung bei der softwaretechnischen Berechnung.



## **6 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN FÜR ERHALTUNGSSCHNITTE**

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse aus den in LAUB durchgeführten Untersuchungen zusammengeführt. Diese beinhalten die durchgeführte Literaturstudie aus Kapitel 2, die messtechnischen Untersuchungen an Bewuchsstreifen als Teil von Kapitel 3, das audiovisuelle Experiment zur Untersuchung eines möglichen psychoakustischen Einflusses durch Bewuchsstreifen, sowie die durchgeführten Schallausbreitungsberechnungen in Kapitel 5. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden die in der Einleitung von Kapitel 1 gestellten Forschungsfragen beantwortet. Des Weiteren enthält dieses Kapitel aus der Sicht des Lärmschutzes abgeleitete Empfehlungen für die Durchführung von Erhaltungsschnitten an Bewuchsstreifen.

### **6.1 Zusammenführung der Ergebnisse und Diskussion**

Im Rahmen der Literaturstudie in AP2 (Kapitel 2) wurden die wichtigsten Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur sowie der aktuelle Stand der Forschung zum akustischen Einfluss von Bewuchs begutachtet. Die betrachteten Untersuchungen bestätigten, dass Schall, der sich durch dichten Bewuchs ausbreitet, gedämpft wird. Diese Einfügedämpfung kann durch Schallabsorption in Form einer porösen Bodenschicht (z.B. bestehend aus Laub, Totholz etc.), hochfrequente Schallabsorption durch Bewuchsbelaubung, und Streuung an Stämmen und Ästen entstehen. Damit die Einfügedämpfung eine für den Straßenverkehr relevante Größenordnung erreicht, die zum Lärmschutz beiträgt, muss Bewuchs in Form eines Bewuchsstreifens jedoch eine Reihe von Anforderungen, die am Ende dieses Unterabschnittes aufgelistet sind, erfüllen. Für die studierten Schallausbreitungsberechnungsmethoden kann festgehalten werden, dass Dämpfung durch Bewuchs konservativer berücksichtigen als messtechnische Untersuchungen die Bewuchsdämpfung quantifizieren. Die Gründe dafür werden unter der Berücksichtigung aller Untersuchungsergebnisse von LAUB ebenso am Ende dieses Unterabschnittes erläutert.

Im Zuge der messtechnischen Untersuchungen in AP3 (Kapitel 3) wurden 3 für das hochrangige österreichische Straßenverkehrsnetz repräsentative Bewuchsstreifen ausgewählt, und akustische Messungen an diesen durchgeführt. Sowohl für Immissionspunkte unmittelbar hinter (1 bis 6 m) dem Bewuchsstreifen, als auch bei Immissionspunkten in bis zu 25 m Entfernung konnte ein direkter Einfluss von dichtem Bewuchs auf die Schallausbreitung festgestellt werden. In einem Entfernungsbereich von 0,5 - 3,5 m hinter einem dichtem Bewuchsstreifen mit einer konstanten

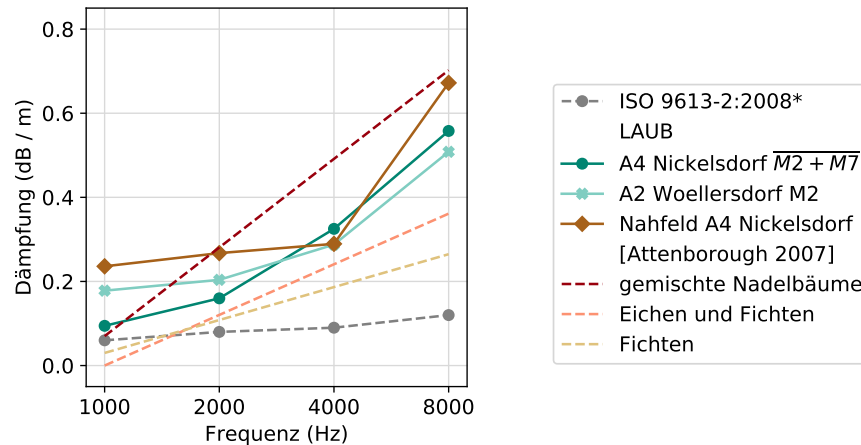
Tiefe von 7,5 m beträgt die mittlere ermittelte Dämpfung  $1,6 \text{ dB}^2$ , wobei in dieser Konstellation ein an ÖNORM EN 1793-6 angelehntes Messverfahren zum Einsatz kam. Im Bereich zwischen 1 m bis 25 m hinter dem Bewuchs wurden bei Vorbeifahrtsmessungen an den Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf und A2 Wöllersdorf nach dem Erhaltungsschnitt im Mittel um  $1,9 \text{ dB(A)}$  und  $4,4 \text{ dB(A)}$  höhere Gesamtpegel ermittelt. Da die Bewuchstiefen an den Messquerschnitten beider Streifen mit 18 m (Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf) und 22 bzw. 27 m (A2 Wöllersdorf) nicht durchgehend konstant waren, und der effektive Schallausbreitungsweg durch Bewuchs über den Verlauf einer gesamter KFZ-Vorbeifahrten variiert, sind diese Ergebnisse nicht direkt mit den Ergebnissen der an ÖNORM EN 1793-6 angelehnten Messungen vergleichbar. Nichtsdestotrotz lassen sich bei einer gesamtheitlicher Betrachtung grundlegende Tendenzen und Schlussfolgerungen für unterschiedliche Frequenzbereiche daraus ableiten:

- Im Frequenzbereich über 1 kHz kommt es mit steigender Frequenz zu einem maßgeblichen Anstieg der Dämpfung bei Schallausbreitung durch Bewuchs. Der in Abbildung 26 dargestellte Vergleich von Ergebnissen der messtechnischen Untersuchungen mit empirisch aufgestellten Zusammenhängen aus [Attenborough 2007] belegt diesen Trend klar.
- im Frequenzbereich unter 1 kHz zeigen die messtechnischen Untersuchungen aufgrund von Messunsicherheiten keine einheitliche Tendenz. Auch wenn sich auf Basis der in LAUB durchgeführten messtechnischen Untersuchungen keine gesicherten Aussagen für diesen Frequenzbereich treffen lassen, zeigen Ergebnisse aus der Literaturstudie ([Price 1988] und [Huisman 1991]) sowie Schallausbreitungsberechnungsmethoden klar, dass es bei Schallausbreitung durch dichten Bewuchs in diesem Frequenzbereich zu einer geringen Dämpfung kommt. Exemplarische Dämpfungsterme aus Schallausbreitungsberechnungsmethoden für diesen Frequenzbereich können aus den Tabellen 1 und 2 in Kapitel 2 für ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2001 und ÖNORM ISO 9613-2:2008 entnommen werden.

Für den in AP4 durchgeführten und in Kapitel 4 beschriebenen audiovisuellen Versuch wurden ausgewählte KFZ-Vorbeifahrten mit konstanter Geschwindigkeit vor und nach dem Erhaltungsschnitt hinsichtlich ihrer psychoakustischen Lärmbelästigung beurteilt. Nach dem Erhaltungsschnitt bei einem blickdichten Bewuchsstreifen mit einer Tiefe von 10 bis 18 m und einer Länge von 220 m (Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf) wurden alle untersuchten Vorbeifahrten statistisch signifikant lästiger empfunden. In der gleichen Situation konnte bei einem nicht vollständig blickdichtem Bewuchsstreifen

---

<sup>2</sup>Die ermittelte Einzahlangabe nach ÖNORM EN 1793-6 wird in dB angegeben, beinhaltet jedoch eine Gewichtung mit dem A-gewichteten standardisierten Straßenverkehrslärmspektrum.



**Abbildung 26: Vergleich abgeleiteter Dämpfungsterme für Schallausbreitung durch belaubten dichten Bewuchs, aus durchgeführten Nahfeldmessungen, Fernfeldmessungen (durchgezogen) und Dämpfungstermen nach [Attenborough 2007] (strichliert). Zugrundeliegende Messverfahren sind nicht in allen Details vergleichbar, die Abbildung visualisiert daher einen qualitativen Trend. Alle für den Vergleich herangezogenen Ergebnisse der Fernfeldmessungen stammen von Immissionspunkten in 1 m Entfernung hinter dem Bewuchsstreifen. \*Vegetationsdämpfung nach ISO 9613-2:2008 für Schallausbreitungswege von 20 m bis 200 m durch dichten Bewuchs.**

mit einer Tiefe von 5 bis 15 m (Bewuchsstreifen A1 Loosdorf) sowie einer Gesamtlänge von 60 m nach dem Erhaltungsschnitt keine Erhöhung der empfundenen Lärmbelastigung festgestellt werden. Die Ergebnisse von letzterem Bewuchsstreifen deuten an, dass ein Bewuchsstreifen ausreichend dicht und lang sein muss, damit eine Verbesserung der empfundenen Lärmsituation auftritt. Bei Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf korreliert die gemessene Gesamtpegelreduktion mit der empfundenen Reduktion der Lärmbelastigung. Eine mittlere gemessene Pegelreduktion von 1,9 dB(A) liegt zudem über der Wahrnehmbarkeitsschwelle bei Pegelunterschieden, die nach [Zwicker 2007] je nach Schallereignis in etwa 1 dB beträgt. Bei der Untersuchung eines potentiellen Einflusses der Veränderung des visuellen Reizes (Bewuchs vor oder nach Erhaltungsschnitt) bei gleichbleibendem akustischem Reiz konnte im Zuge des audiovisuellen Versuchs kein statistisch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Hier ist es wichtig anzumerken, dass die Untersuchung der audiovisuellen Interaktion nur einen Nebenaspekt im Versuch darstellte. Unter Einbeziehung der in [Van Renterghem 2019] untersuchten Studien kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass die visuelle Präsenz eines Bewuchsstreifens einen Einfluss auf die empfundene Lärmbelastigung von Anrainer\*innen haben kann.

Auf Basis der in AP3 durchgeführten messtechnischen Untersuchungen wurden in AP5 (Kapitel 5) Schallausbreitungsberechnungen durchgeführt, um den akustischen Einfluss von Bewuchsstreifen

auf die Schallausbreitung für Immissionspunkte in größerer Entfernung (bis zu 500 m) zu betrachten. Zudem fand ein Vergleich zwischen der Berücksichtigung von Bewuchs in Schallausbreitungsrechnungsmethoden und den Messergebnissen aus AP3 statt. Bei allen berechneten Szenarien zeigte sich, dass die Vegetationsdämpfung durch dichten Bewuchs in den zum Projektstart national gültigen Richtlinien RVS 04.02.11 Version 2006 sowie ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2001 deutlich unterschätzt wird (siehe Tabellen 11 und 13 in Kapitel 5). Die zum Zeitpunkt des Projektabschluss (Mai 2020) neu veröffentlichten Richtlinien RVS 04.02.11 Version 2019 und ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2019 ermöglichen außerhalb der strategischen Lärmkartierung die Berücksichtigung von Vegetation nach ÖNORM ISO 9613-2:2008. In den mit dieser Vegetationsdämpfung betrachteten Szenarien zeigte ein Vergleich mit den Messergebnissen aus AP3 (Tabelle 12 und 14 in Kapitel 5) eine bessere Übereinstimmung. Die verbleibenden Diskrepanzen in diesen Szenarien sind einerseits auf Messunsicherheiten zurückzuführen, andererseits wird die Vegetationsdämpfung für Frequenzen über 1 kHz von ISO 9613-2:2008 tendenziell unterschätzt, wie in Abbildung 26 dargestellt und bereits in [Attenborough 2007] angemerkt. Zudem wird Vegetationsdämpfung in Schallausbreitungsberechnungsmethoden konservativer berücksichtigt, als die durchgeführten messtechnischen Untersuchungen und Literaturergebnisse die Dämpfung quantifizieren. Dies hat folgende Gründe:

- Bewuchsstreifen, insbesondere jene mit einer geringen Ausdehnung, können in der Regel nicht als permanent angesehen werden. Mögliche Gründe dafür sind durchzuführende Erhaltungsschnitte oder Abholzungen.
- Eine große Mehrheit der betrachteten Studien quantifizierte die Bewuchsdämpfung bei voller Belaubung. Je nach Bewuchsart verändern sich in Abhängigkeit der Jahreszeit sowohl die Belaubung (z.B im Winter nicht vorhanden) als auch Bewuchsuntergrund (durch herabgefallenes Laub und Totholz). Somit kann der Einfluss von Bewuchs in Abhängigkeit der Jahreszeit variieren. Schallausbreitungsberechnungsmethoden dienen jedoch in der Regel zur Ermittlung von Lärmindizes, die in ihrer Beurteilung der Belästigung und der Gesundheitsgefährdung Jahresmittelwerte repräsentieren.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse kann für die Berücksichtigung von dichtem permanentem Bewuchs nach den aktuell gültigen Richtlinien RVS 04.02.11 Version 2019 und ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2019 aus wissenschaftlicher Sicht eine Empfehlung ausgesprochen werden, diesen Bewuchs nach ÖNORM ISO 9613-2:2008 zu berücksichtigen<sup>3</sup>. Eine Berücksichtigung der Vegetati-

<sup>3</sup>ÖAL-Richtlinie Nr. 28:2019 lässt die Möglichkeit offen, Dämpfung durch Bewuchs außerhalb der strategischen Lärmkartierung nach ISO 9613-2:2008 zu berücksichtigen

onsdämpfung durch dichten Bewuchs nach ÖNORM ISO 9613-2 für Schallausbreitungsberechnungen ist für durchschnittliche Straßenverkehrsemissionen nach derzeitigem Wissensstand für A-bewertete Gesamtpegel adäquat.

Die Betrachtung eines durchschnittlichen an Österreichs hochrangigen Straßen verlaufenden Bewuchsstreifen (Mischwald, blickdicht, 12 m tief und 13,3 m hoch) zeigte, dass es bei einer durchschnittlichen Straßenverkehrsschallemission nach RVS 04.02.11 (2019) für Immissionspunkte in bis zu 500 m Entfernung eine Gesamtpegelreduktion von 1 bis 2 dB(A) zu erwarten ist. Damit ein Bewuchsstreifen in diesem Ausmaß zum Lärmschutz beiträgt, muss der Schallausbreitungsweg des Hauptemissionsbeitrag des Straßenverkehrs hin zum Immissionspunkt durch den Bewuchs verlaufen. Daher wird vorausgesetzt, dass

- der Bewuchsstreifen ausreichend lang ist, sodass die Schallemissionsbeiträge des Straßenverkehrs vor und nach dem Bewuchsstreifen erheblich geringer sind, als jener Beitrag, der sich durch den Bewuchs hin zum Immissionspunkt ausbreitet.
- Der Bewuchs muss eine ausreichende Höhe aufweisen, damit der Schallausbreitungsweg auch bei meteorologischen Bedingungen wie Inversionswetterlage durch den Bewuchs verläuft.
- Liegt zwischen Straßenverkehrsemissionspunkt und Immissionspunkt eine Höhendifferenz vor, so muss der Bewuchs ebenso ausreichend hoch sein, damit der Schallausbreitungsweg zum Immissionspunkt durch den Bewuchs verläuft.
- Befinden sich zwischen Emissionspunkt und Immissionspunkt eine Lärmschutzwand und ein Bewuchsstreifen, so muss der Bewuchs ausreichend hoch sein, dass der über die Lärmschutzwandoberkante gebeugte Schallausbreitungsweg durch den Bewuchs verläuft.

## 6.2 Empfehlungen für Erhaltungsschnitte

Auf Basis der umfangreichen Untersuchungsergebnisse des Projektes LAUB wurden in AP5 Empfehlungen für Erhaltungsschnitte an Bewuchsstreifen an hochrangigen Straßen erstellt. Die erarbeiteten Empfehlungen sind in diesem Unterabschnitt zusammengefasst. An dieser Stelle ist es wichtig anzumerken, dass sich diese Empfehlungen ausschließlich aus der Sicht der Lärmschutzes erstellt wurden.

- Erhaltungsschnitte sollen nur dann durchgeführt werden, wenn sie aus Gründen der Verkehrssicherheit oder aus forstwirtschaftlicher Sicht absolut notwendig sind. Die in LAUB durchgeführten Untersuchungen zeigen klar, dass ein Bewuchsstreifen einen kleinen Beitrag zum

Lärmschutz leisten kann. Zudem deuten weitere Studien zu dem Thema an, dass eine visuelle Verdeckung des Straßenverkehrs durch den Bewuchsstreifen zu einer Reduktion der empfundenen Lärmbelastung bei Anrainer\*innen führen kann, wenn die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr nicht zu groß ist.

- Ist ein Erhaltungsschnitt notwendig, soll der Schnitt auf jene Bereiche beschränkt werden, die für eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit verantwortlich sind oder aus forstwirtschaftlichen Gründen entfernt werden müssen.

## A DETAILERGEBNISSE NAH- UND FERNFELDMESSUNGEN UNTER VERKEHRSLÄRM

Dieser Anhang beinhaltet detaillierte Analyseergebnisse der untersuchten Bewuchsstreifen unter Verkehrslärm. Eine Beschreibung des Auswerteprozederes kann Abschnitt 3.2 entnommen werden.

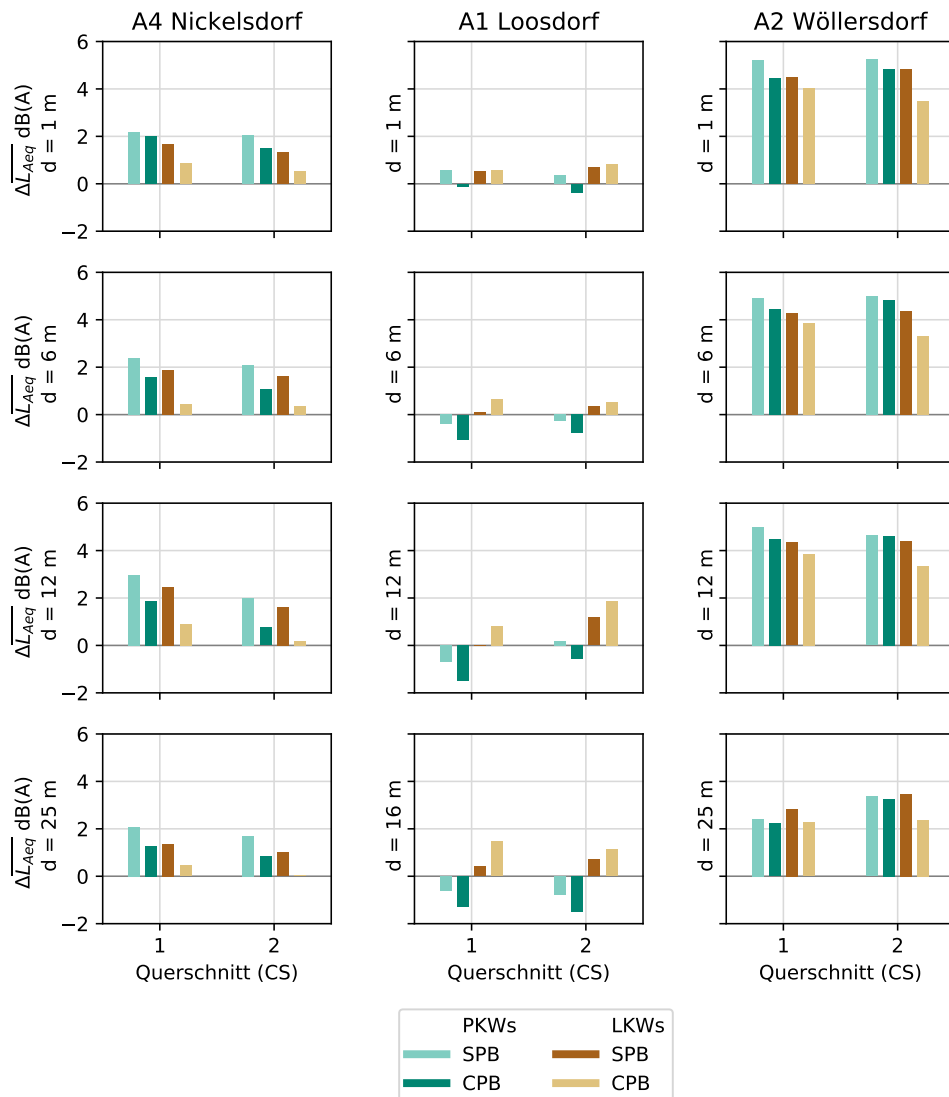
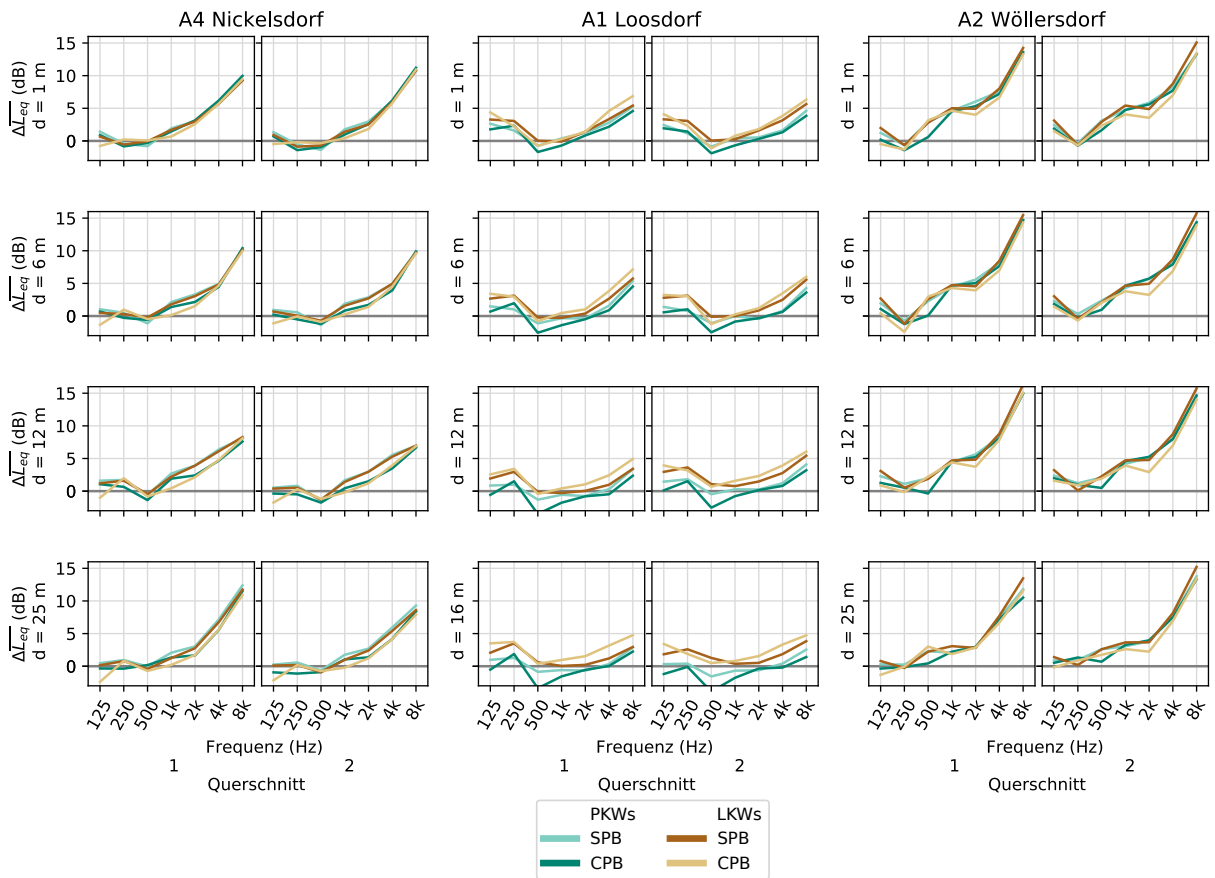


Abbildung 27: Gesamtpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Gesamtpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz  $d$  für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien und Vorbeifahrtsarten (SPB und CPB).



**Abbildung 28: Oktavbandpegeldifferenz zwischen nach und vor Durchführung des Erhaltungsschnittes für Bewuchsstreifen A4 Nickelsdorf (linke Spalte), A1 Loosdorf (mittlere Spalte) und A2 Wöllersdorf (rechte Spalte). Jede Abbildungsreihe zeigt die Oktavbandpegeldifferenzen für Immissionspunkte in einer bestimmten Distanz  $d$  für jeweils beide Querschnitte (CS) hinter dem Bewuchsstreifen. Unterschiedliche Farbgebungen stehen für die Pegeldifferenzen unterschiedlicher Fahrzeugkategorien.**



## B FRAGEBOGEN ZUR LÄRMEMPFLINDLICHKEIT

Dieser Anhang beinhaltet eine Auflistung der Fragen, welche jede Versuchsperson nach Absolvierung des Hauptteils des audiovisuellen Versuchs beantworten musste. Bei den Fragen handelt es sich um die deutsche Übersetzung des Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit nach [Weinstein 1978], die [Zimmer 1997] durchgeführt wurde.

1. Es würde mir nichts ausmachen, an einer lauten Straße zu wohnen, wenn meine Wohnung schön wäre.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

2. Mir fällt Lärm heutzutage mehr auf als früher.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

3. Es sollte niemanden groß stören, wenn ein anderer ab und zu seine Stereoanlage voll aufdreht.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

4. Im Kino stört mich Flüstern und Rascheln von Bonbonpapier.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

5. Ich werde leicht durch Lärm geweckt.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

6. Wenn es an meinem Arbeitsplatz laut ist, dann versuche ich, Tür oder Fenster zu schließen oder anderswo weiterzuarbeiten.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

7. Es ärgert mich, wenn meine Nachbarn laut werden.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

8. An die meisten Geräusche gewöhne ich mich ohne große Schwierigkeiten.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

9. Es würde mir etwas ausmachen, wenn eine Wohnung, die ich gerne mieten würde, gegenüber der Feuerwache läge.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

10. Manchmal gehen mir Geräusche auf die Nerven und ärgern mich.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

11. Sogar Musik, die ich eigentlich mag, stört mich, wenn ich mich konzentrieren möchte.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

12. Es würde mich nicht stören, die Alltagsgeräusche meiner Nachbarn (z.B. Schritte, Wasserrauschen) zu hören. konzentrieren möchte.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

13. Wenn ich allein sein möchte, stören mich Geräusche von außerhalb.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

14. Ich kann mich gut konzentrieren, egal was um mich herum geschieht.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

15. In der Bibliothek macht es mir nichts aus, wenn sich Leute unterhalten, solange dies leise geschieht

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

16. Oft wünsche ich mir völlige Stille.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

17. Motorräder sollten besser schallgedämpft sein.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

18. Es fällt mir schwer, mich an einem lauten Ort zu entspannen.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

19. Ich werde wütend auf Leute, die Lärm machen, der mich vom Einschlafen oder vom Fortkommen in der Arbeit abhält.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

20. Es würde mir nichts ausmachen, in einer Wohnung mit dünnen Wänden zu leben.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

21. Ich bin geräuschempfindlich.

*trifft gar nicht zu*       *trifft voll zu*

## Literatur

- [Attenborough 2007] Attenborough K., Ming Li, K., Horoschenkov K.: *Predicting Outdoor Sound*. Taylor & Francis, 2007.
- [Bech 2006] Bech S., Zacharov N. : *Perceptual Audio Evaluation – Theory, Method and Application*. John Wiley & Sons, 2006.
- [Huddart 1990] Huddart L.: *Research Report 238 - The Use of Vegetation for Traffic Noise Screening*. Transport and Road Research Laboratory, 1990.
- [Huisman 1990] Huisman W. : *Sound propagation over vegetation-covered ground*. PhD Thesis, University of Nijmegen, Netherlands, 1990.
- [Huisman 1991] Huisman W., Attenborough K. : *Reverberation and attenuation in a pine forest*. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 90, pp. 2664 - 2677., 1991.
- [Kragh 1982] Kragh J.: *Road Traffic Noise Attenuation by Belts of Trees and Bushes*. Danish Acoustical Laboratory Report No. 31, 1982.
- [Price 1986] Price M. A., Attenborough K. : *Sound propagation results from three British woodlands*. Sound Propagation in Forested Areas and Shelterbelts, University of Nijmegen, 1986.
- [Price 1988] Price M. A., Attenborough K. : *Sound attenuation through trees: measurements and models*. Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 84, pp. 1836 - 1844, 1988.
- [Peng 2014] Peng, J., Bullen R., Kean S. : *The effects of vegetation on road traffic noise*. Tagungsband der 43. Inter-Noise, Melbourne, Australien, 2014.
- [Späh 2011] Späh M., Weber L., Oesterreicher T., Liebl A.: *Schallschutzpflanzen - Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen*. Forschungsbericht BWPLUS, Fraunhofer Institut für Bauphysik. Oktober, 2011.
- [Sun 2018] Watts G., Chinn L., Godfrey N. : *Effect of interaction between attention focusing capability and visual factors on road traffic noise annoyance*. Applied Acoustics, Vol. 134, pp. 16 - 24, 2018.
- [Van Renterghem 2016] Van Renterghem T., Botteldooren D. : *View on outdoor vegetation reduces noise annoyance for dwellers near busy roads*. Landscape and Urban Planning, Vol. 148, pp. 203 - 215, 2016.

- [Van Renterghem 2019] Van Renterghem T. : *Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise*. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 40, pp. 133 - 144, 2019.
- [Watts 1999] Watts G., Chinn L., Godfrey N. : *The effects of vegetation on the perception of traffic noise*. Applied Acoustics, Vol. 56, pp. 39 - 56, 1999.
- [Weinstein 1978] Weinstein N. D. : *Individual Differences in Reactions to Noise: A Longitudinal Study in a College Dormitory*. Journal of Applied Psychology, Vol. 63, pp. 458 - 466, 1978.
- [Zhang 2003] Zhang B., Shi L., Di G. : *The influence of the visibility of the source on the subjective annoyance due to its noise*. Applied Acoustics, Vol. 64, pp. 1205 - 1215, 2003.
- [Zimmer 1997] Zimmer K., Ellermeier W. : *Eine deutsche Version der Lärmempfindlichkeitskala von Weinstein*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Ausgabe 44, S. 107 - 110, 1997.
- [Zwicker 2007] Fastl H., Zwicker, E.: *Psychoacoustics - Facts and Models*. 3<sup>rd</sup> Edition, Springer Verlag, 2007.
- [ÖAL Nr. 28 2001] *ÖAL-Richtlinie Nr. 28: Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden.*, Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Wien, 2001.
- [ÖAL Nr. 28 2019] *ÖAL-Richtlinie Nr. 28: Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden.*, Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Wien, 2019.
- [ISO 9613-1] *ISO 9613-1:1993 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.*, International Organization for Standardization, 1993.
- [ÖNORM ISO 9613-2] *ÖNORM ISO 9613-2 Akustik — Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren.*, Austrian Standards Institute, 2008.
- [RVS 04.02.11 2006] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. : *RVS 04.02.11 Umweltschutz, Lärm und Luftschadstoffe, Lärmschutz. 2006-03-01*, 2006.
- [RVS 04.02.11 2019] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr. : *RVS 04.02.11 Umweltschutz, Lärm und Luftschadstoffe, Lärmschutz. 2019-02-01*, 2019.

- [11819-1 1997] *ISO 11819-1:1997 - Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 1: Statistical Pass-By method.* Austrian Standards Institute, 2001.
- [1793-3 1998] *ÖNORM EN 1793-3: 1997 - Lärmschutzeinrichtungen an Straßen – Prüfeigenschaften zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum.* Austrian Standards Institute, 1997.
- [1793-6 2018] *ÖNORM EN 1793-6: 2018 - Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 6: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern.* Austrian Standards Institute, 2018.
- [2015/996 EU] *Richtlinie (EU) 2015/996 der Kommission vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates..* Amtsblatt der Europäischen Union.
- [70/157/EEC] *Richtlinie 70/157/EWG des Rates vom 6. Februar 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den zulässigen Geräuschpegel und die Auspuffvorrichtung von Kraftfahrzeugen.* Amtsblatt der Europäischen Union.